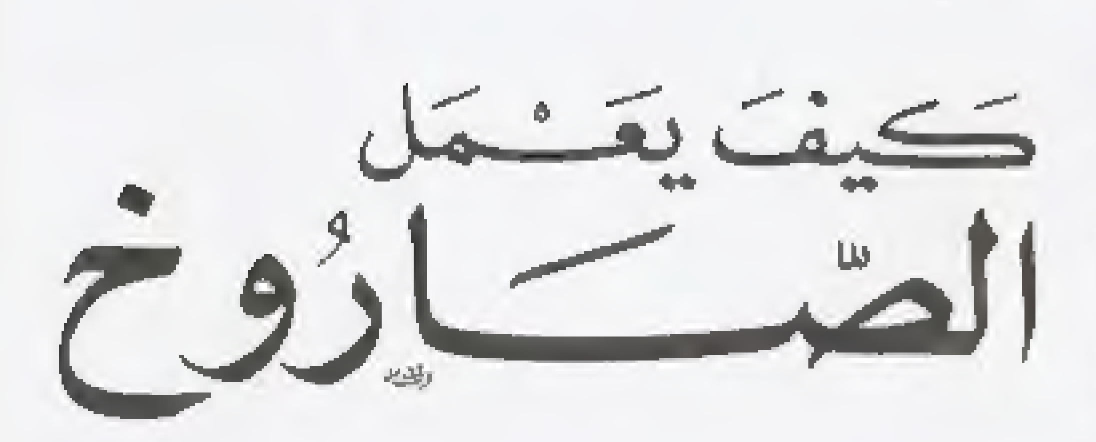

كَيفَ يعمَل
الصّارُوخ
الوَقود
المؤكسِد
حُجرَة
الاحتِراق
ARAB COMICS
عرب كوميكس
www.arabcomics.net

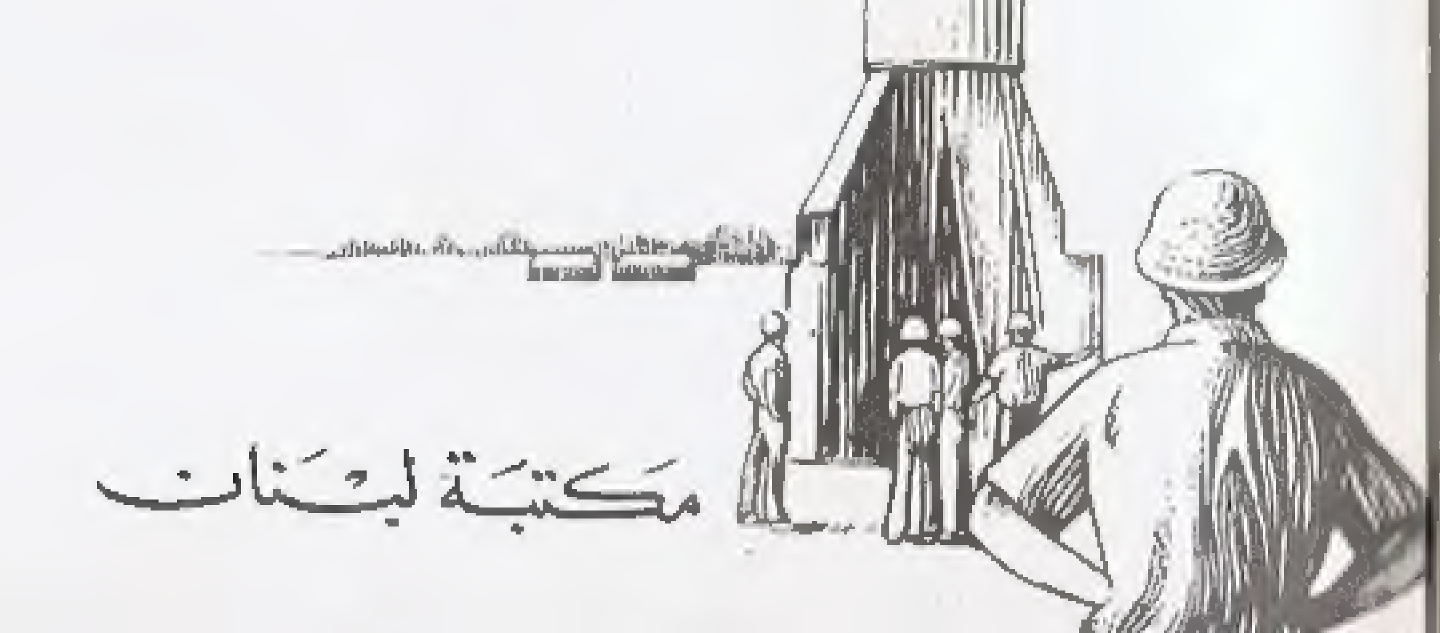


ماذا يَحْدُثُ عِنْدَما يُطْلَقُ الصَّارُوخ؟ ما الّذي يَدْفَعُهُ؟ كَيْفَ يَسيرُ الصَّارُوخُ عَبْرَ الفَراغِ ؟ ما الّذي يَحْفَظُ السُّفُنَ الفَضائِيَّةَ في مَدارِها بَعْدَ أنْ يُسْتَنْفَدَ وَقودُها ؟ هٰذِهِ الأَسْئِلَةُ وغَيْرُها مِنَ الأَسْئِلَةِ المُحَيِّرَةِ تَجِدُ لَها أَجْوِبَةً في هٰذا الكِتابِ القَيِّمِ . ولكِنْ اَسْتِعْمالَ الصَّوارِيخِ لا يَقْتَصِرُ عَلى وَضْعِها في مَداراتٍ في الفَضاءِ بَلْ لَها اسْتِعْمالاتٌ كَثِيرَةٌ أُخْرَى وهِيَ أَيْضًا مَشْرُوحَةٌ ومُعالَجَةٌ في هٰذا الكِتابِ.



كيف يعمل الصاروخ

بقلم: داود كاري
نقله إلى العربية: أحمد الخطيب
وضع الرسوم: ب. هـ. روبنسون



مكتبة لبنان



تـمهيد

كثيرًا ما تحتلُّ أنباءُ الرحلاتِ الفضائيةِ مكانًا بارزًا في الصُّحُفِ ونشراتِ الأخبارِ هذهِ الأيامِ. وقدْ كُتِبَ الكثيرُ مِنَ القِصَصِ والرواياتِ السينمائيّةِ حولَ هذا الموضوعِ الشيّقِ. لكنَّ الحقائقَ الفعليّةَ عنْ هبوطِ الإنسانِ التاريخيِّ على القمرِ في العشرينَ مِنْ يوليو (تموز) ١٩٦٩ والرحلاتِ التي تلتْ ذلكَ حظيَتْ بالقسمِ الأكبرِ مِنِ اهتمامِ الناسِ العاديّينَ في هذا المجالِ. كذلكَ فإنَّ تخلُّصَ الرُّوّادِ مِنْ جاذبيّةِ القمرِ وعودتَهُمْ سالمينَ إلى الأرضِ مِنْ تلكَ الرحلاتِ كانتْ مِنْ أشدِّ الأنباءِ إثارةً للاهتمامِ.

إنَّ كثيرًا مِنْ رواياتِ الفضاءِ التي نراها على الشاشةِ أوْ نقرأُ عنها في الكتبِ يرتكزُ على أساسٍ علميٍّ. لكنَّ مخيّلاتِ المؤلّفينَ تضفي عليها نوعًا مِنَ التشويقِ بمزجِ الحقيقةِ بالخيالِ. فما الذي يحدثُ فعلاً عندما يُطلَقُ الصاروخُ؟ كيفَ يندفعُ؟ كيفَ يسافرُ عبرَ الفراغِ في الفضاءِ؟ لماذا تبقى المركباتُ الفضائيّةُ في مدارِها حولَ الأرضِ بعدَ أنْ يُستنفَدَ مخزونُها مِنَ الوقودِ؟ هذهِ الأسئلةُ وسِواها مِنَ الأسئلةِ المحيّرةِ تجدُ لها أجوبةً في الصفحاتِ التاليةِ مِنْ هذا الكتابِ. ولكنَّ الصواريخَ لا تُستخدَمُ كلُّها كمركباتٍ فضائيّةٍ فهنالكَ استعمالاتٌ أخرى للصواريخِ ستجدُ شرحًا لها في هذا الكتابِ أيضًا.

هنالكَ كتابانِ آخرانِ مِنْ سلسلةِ كتبِ ليديبرد يجدُ فيهما الفتيانُ والفتياتُ مِنْ مختلفِ الأعمارِ المهتمّونَ بعلومِ الطيرانِ والملاحةِ الفضائيّةِ مزيدًا مِنَ المعلوماتِ حولَ هذهِ المواضيعِ.

هذانِ الكتابانِ هما «الطائرةُ ـ كيفَ تعملُ» و«ريادةُ الفضاءِ».

إنَّ المشكلاتِ التي تواجهُها الطائرةُ وينبغي التغلّبُ عليها تختلفُ اختلافًا بيّنًا بالنسبةِ للصاروخِ كما سنرى. وفي «ريادةِ الفضاءِ» تقرأُ عنِ الإنجازاتِ الرائعةِ التي حقّقَها الإنسانُ في الفضاءِ وعنِ التقدّمِ الكبيرِ في تحصيلِ المعلوماتِ عنْ هذا الكونِ الشاسعِ الذي نعيشُ فيهِ.

والآنَ هيّا إلى موضوعِنا الأوّلِ: كيفَ يعملُ الصاروخُ؟

الصواريخُ جعلتْ هبوطَ الإنسانِ على القمرِ ممكنًا!



الصواريخ - كيف تختلف عن الطائرات !

تعتمد الطائرات في عملها على هواء الجو الذي يحيط بالأرض . فهي تندفع نحو الأمام بفعل مراوحها الدائرة التي تدفع الهواء إلى الخلف أو بفعل غازات الاحتراق المنطلقة من محركاتها إن كانت من الطائرات النفاثة . كما أن اختلاف سرعة الهواء وضغطه على سطحي أجنحتها ينتج قوة الرفع التي تحملها . وهي تميل وتنعطف وتناور باستخدام ضغط الهواء ، بالإضافة إلى أن أكسجين الهواء هو الذي يتيح إمكانية العمل لمحركاتها .

يكون الهواء في كثافته القصوى على مستوى سطح البحر وتقل كثافته كلما ارتفعنا عن سطح البحر . فكثافة الهواء على علو ٨ كيلومترات « وهو ارتفاع جبل إفرست » هي ربع كثافته على سطح البحر . وهذا يعني بالنسبة للطائرة نقصا في الهواء ، الذي يدفعه إلى الخلف تندفع هي إلى الأمام ، وانخفاضا في قوة الرفع على الأجنحة ، وقلة في الأكسجين اللازم لأكسدة وقود المحركات . والارتفاع الأقصى الذي يمكن للطائرة بلوغه لا يتجاوز ٣٢ كيلومترا إذ إنه على هذا الارتفاع لا يوجد من الهواء ما يكفي لحملها ولتشغيل محركاتها . وهكذا يبدو واضحا أنه لا أمل مطلقا في أن تحلق طائرة عادية في الفضاء ، وطبعا لن يتأتى لمثل هذه الطائرة الوصول إلى القمر .

وهذا يقودنا إلى تبيان الفرق الرئيسي بين الطائرة والصاروخ . فالصواريخ لا تحتاج إلى الهواء - والواقع أنها تنطلق بسهولة أكثر في الأجواء العليا حيث تقل كثافة الهواء جدا وتقل بالتالي مقاومته لاندفاعها . أما الأكسجين اللازم لتشغيل محرك الصاروخ فيحمل في خزان مثبت في هيكل الصاروخ نفسه . وحالما يتخلص الصاروخ من جاذبية الأرض يستمر منطلقا في مساره المحدد دونما حاجة إلى أي دفع إضافي .

مجالات الطائرة محدودة بالنسبة للصاروخ

المَبادِئُ الأَوَّلِيَّةُ لِلدَّفْعِ الصّارُوخِيِّ

عِنْدَما تَصْعَدُ الدَّرَجَ فإِنَّكَ تَفْعَلُ ذٰلِكَ بالشَّدِّ بإِحْدَى القَدَمَيْنِ إلى أَسْفَلَ على كُلِّ دَرَجَةٍ. وعِنْدَما تَتَسَلَّقُ شَجَرَةً أَوْ حَبْلاً فأَنْتَ تَرْفَعُ جِسْمَكَ إلى أَعْلَى بالشَّدِّ بِكِلْتا اليَدَيْنِ إلى أَسْفَلَ. والواقِعُ أَنَّكَ لِكَيْ تَتَحَرَّكَ في أَيِّ اتِّجاهٍ لا بُدَّ لَكَ مِنْ بَذْلِ ضَغْطٍ في الاتِّجاهِ المُضادِّ، فَفِعْلُ الحَرَكَةِ في اتِّجاهٍ ما يُساوِي فِعْلَ الضَّغْطِ تَمامًا في الاتِّجاهِ المُعاكِسِ. ولِلتَّعْبِيرِ عَنْ هٰذا المَبْدَإِ بِشَكْلِهِ الصَّحِيحِ نَقُولُ «لِكُلِّ فِعْلٍ رَدُّ فِعْلٍ مُساوٍ ومُضادٌّ لَهُ في الاتِّجاهِ» - قانُونُ الحَرَكَةِ الثّالِثُ لِنْيُوتُن.

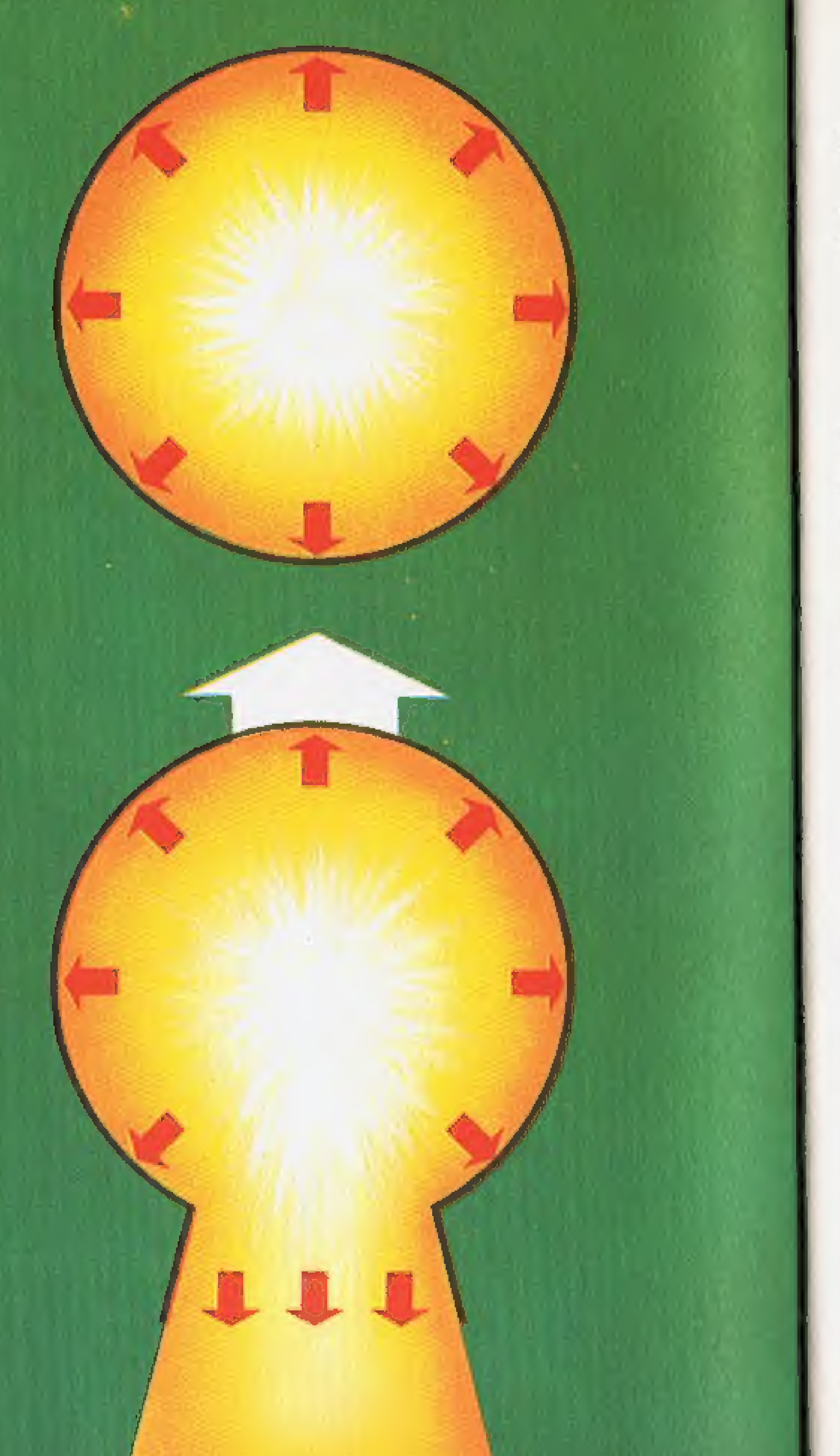
وعِنْدَ إِطْلاقِ بُنْدُقِيَّةٍ أَوْ مِدْفَعٍ أَوْ سِوَى ذٰلِكَ يُرافِقُ انْطِلاقَ المَقْذُوفِ رَدَّةٌ إلى الخَلْفِ تَلِي عَمَلِيَّةَ الإِطْلاقِ. وهٰذا الارْتِدادُ هُوَ رَدَّةُ فِعْلِ البُنْدُقِيَّةِ في الاتِّجاهِ المُعاكِسِ لانْطِلاقِ القَذِيفَةِ عَبْرَ ماسُورَةِ البُنْدُقِيَّةِ بِسُرْعَةٍ عالِيَةٍ.

فإِذا وَجَّهْنا مُسَدَّسًا نَحْوَ الأَرْضِ وأَطْلَقْنا مِنْهُ طَلْقَةً يَرْتَدُّ المُسَدَّسُ في اتِّجاهٍ عُلْوِيٍّ وهٰذا يَشْرَحُ بِشَكْلٍ إِجْمالِيٍّ مَبْدَأَ عَمَلِ الصّارُوخِ - إلاّ أَنَّ مَقْذُوفَ الصّارُوخِ لَيْسَ قَذِيفَةً عَبْرَ ماسُورَةٍ، بَلْ تَيّارًا مِنَ الغازاتِ السّاخِنَةِ المُنْدَفِقَةِ عَبْرَ مِنْفَثٍ مُوَجَّهٍ إلى أَسْفَلَ. فَرَدَّةُ الفِعْلِ لانْدِفاقِ هٰذِهِ الغازاتِ عَبْرَ مِنْفَثِ الصّارُوخِ بِسُرْعَةٍ عَظِيمَةٍ هِيَ القُوَّةُ الَّتِي تَعْمَلُ في اتِّجاهِ أَنْفِ الصّارُوخِ وتَدْفَعُهُ إلى أَعْلَى. وبَيْنَما تَحْصُلُ رَدَّةُ فِعْلِ الانْطِلاقِ في البُنْدُقِيَّةِ أَوِ المُسَدَّسِ مَرَّةً بَعْدَ كُلِّ طَلْقَةٍ تَعْمَلُ رَدَّةُ الفِعْلِ في الصّارُوخِ بِشَكْلٍ مُسْتَمِرٍّ لأَنَّ انْدِفاقَ الغازاتِ المُنْطَلِقَةِ عَبْرَ طَرَفِهِ السُّفْلِيِّ مُسْتَمِرٌّ.

الطّائِرَةُ تَنْدَفِعُ إلى الأَمامِ بِدَفْعِ الهَواءِ إلى الخَلْفِ. لٰكِنَّ الصّارُوخَ لا يَدْفَعُ الهَواءَ لِيَنْدَفِعَ هُوَ، فَحَرَكَتُهُ تَنْتُجُ عَنْ عَمَلِيَّتَيِ الفِعْلِ ورَدِّ الفِعْلِ لِلغازاتِ المُتَمَدِّدَةِ في حُجْرَةِ الاحْتِراقِ فِيهِ.



«لِكُلِّ فِعْلٍ رَدُّ فِعْلٍ مُساوٍ ومُضادٌّ لهُ في الاتِّجاه»



لِماذا يَنْدَفِعُ الصّارُوخ ؟

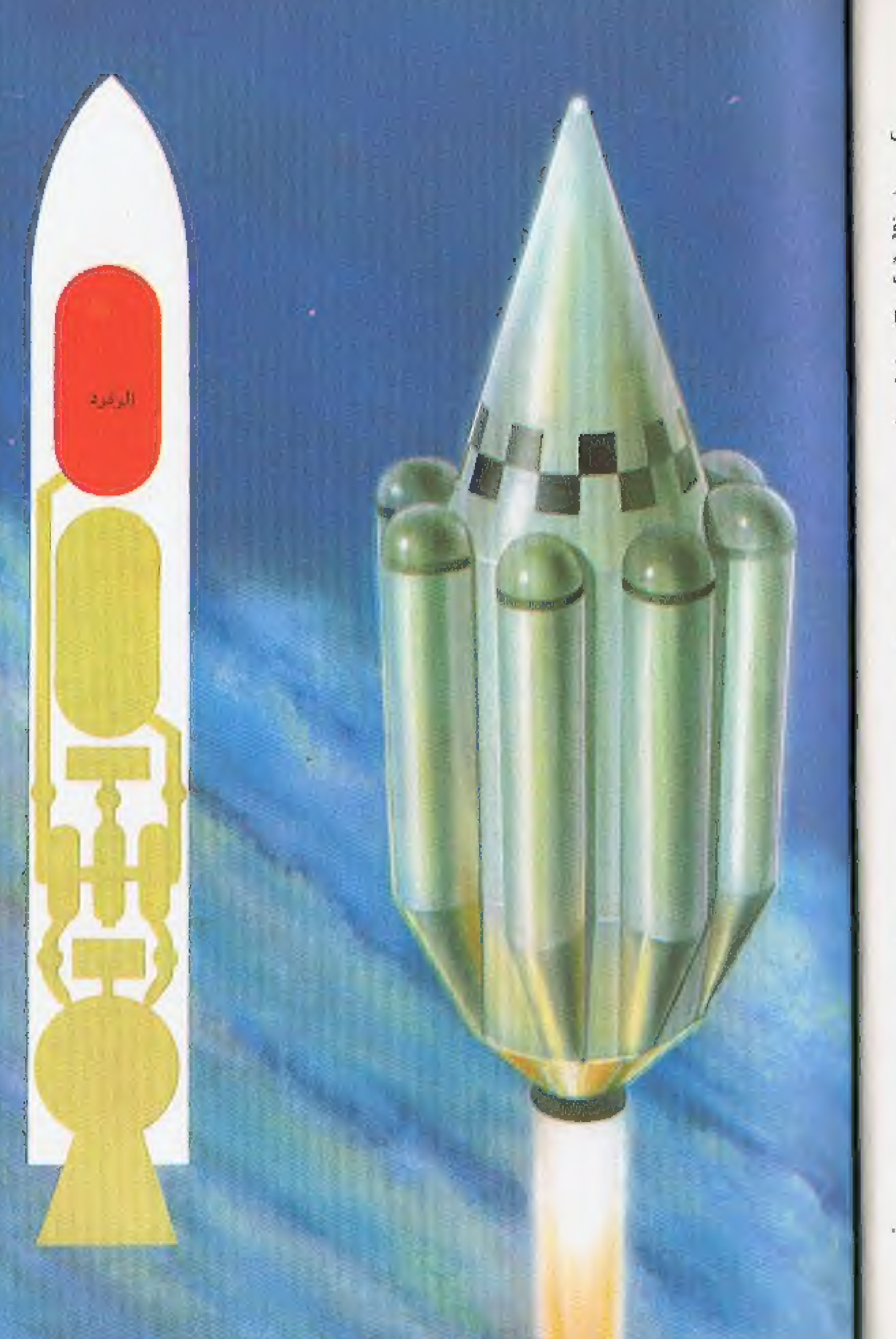
إنَّ مَبْدَأَ الاندفاعِ الصّارُوخِيِّ هُوَ على قَدْرٍ كَبيرٍ مِنَ الأَهَمِّيَّةِ بِحَيْثُ نَرى مِنَ الضَّرُورِيِّ بَحْثَهُ بِشَيْءٍ مِنَ الإسْهابِ قَبْلَ الانتِقالِ إلى جَوانِبِ البَحْثِ الأُخْرى. ولْنَذْكُرْ تَكْرارًا أَنَّ الصّارُوخَ لا يَنْدَفِعُ إلى أعْلى بِدَفْعِ الهواءِ إلى أسْفَل بَلْ بِرَدِّ الفِعْلِ الذي تُوَلِّدُهُ قُوَّةُ انْدِفاعِ الغازاتِ المُنْطَلِقَةِ مِنْ طَرَفِ الصّارُوخِ السُّفْلي.

ويَبْدُو في الصَّفْحَةِ المُقابِلَةِ تَفْسيرٌ بَسيطٌ لِمَبْدَإِ الاندِفاعِ الصّارُوخِي. فَفي أعْلى الصَّفْحَةِ وِعاءٌ كُرَوِيٌّ، أشْبَهُ بِكُرَةٍ مَعْدِنِيَّةٍ مُجَوَّفَةٍ. حُقِنَتْ فيهِ كَمِّيَّةٌ مِنَ الوَقُودِ ثُمَّ أُشْعِلَتْ. إنَّ الغازاتِ النّاتِجَةَ عنْ عَمَلِيَّةِ الاحتِراقِ والمُرْتَفِعَةَ دَرَجَةِ الحَرارَةِ سَتَتَمَدَّدُ بِسُرْعَةٍ فائِقَةٍ وبِذٰلِكَ تَضْغَطُ بِشِدَّةٍ على جَوانِبِ الوِعاءِ، وحَيْثُ إنَّ الوِعاءَ مُقْفَلٌ ولَيْسَ بِهِ مَنْفَثٌ لانْطِلاقِ الغازاتِ يَتَوَزَّعُ ضَغْطُ الغازاتِ المُتَمَدِّدَةِ على السَّطْحِ الدّاخِلِيِّ لِلْوِعاءِ تَوزيعًا مُتَساوِيًا، وبِما أنَّ قُوَى الضَّغْطِ على مُخْتَلِفِ جَوانِبِ الوِعاءِ مُتَساوِيَةٌ مُتَوازِنَةٌ فإنَّ الوِعاءَ يَبْقى ساكِنًا دُونَ حَراكٍ.

أمّا إذا جَعَلْنا في الطَّرَفِ السُّفْلِيِّ لِلْوِعاءِ مَنْفَثًا وطَوَّيْنا جَوانِبَ الوِعاءِ حَوْلَ المَنْفَثِ إلى الخَلْفِ (كَما في الشَّكْلِ السُّفْلي) فإنَّ الغازاتِ المُتَمَدِّدَةَ تَنْطَلِقُ عَبْرَ المَنْفَثِ فَيَخْتَلُّ تَوازُنُ القُوَى على سَطْحِ الوِعاءِ الدّاخِلِيِّ. وبَيْنَما تَنْدَفِقُ غازاتُ الاحتِراقِ بِحُرِّيَّةٍ عَبْرَ المَنْفَثِ في الطَّرَفِ السُّفْلِيِّ لِلْوِعاءِ تَعْمَلُ القُوَى الضّاغِطَةُ على السَّطْحِ العُلْوِيِّ لِلْوِعاءِ على رَفْعِ الوِعاءِ كُلِّهِ إلى أعلى ـ وهٰذِهِ القُوَّةُ الإجْمالِيَّةُ الدّافِعَةُ إلى أعْلى تُعادِلُ القُوَّةَ الإجْمالِيَّةَ لِلْغازاتِ المُنْدَفِقَةِ إلى أسْفَل عَبْرَ مَنْفَثِ الوِعاءِ.

وفي الصّارُوخِ تُوجَدُ حُجْرَةُ احْتِراقٍ تَعْمَلُ على المَبْدَأ نَفْسِهِ الذي شَرَحْناهُ بالنِّسْبَةِ لِلْوِعاءِ المَفْتُوحِ الطَّرَفِ.

رَسْمٌ بَيانِيٌّ لِمَبْدأ رَدِّ الفِعْلِ في الصّارُوخ



خَزّاناتُ الوَقُودِ الدَّفْعِيّ (الدّاسِر)

لَقَدْ تَبيَّنَ لَنا مِمّا سَبَقَ أنَّ حَرَكَةَ الصّارُوخِ إلى أعْلى (أوْ إلى الأمامِ) تَنْتُجُ عَنِ انْدِفاقِ الغازاتِ السّاخِنَةِ عَبْرَ المِنْفَثِ في مُؤَخَّرَةِ الصّارُوخِ . وهٰذِهِ الغازاتُ تَتَوَلَّدُ مِنَ احْتِراقِ وَقُودٍ داسِرٍ (دَفْعِيّ) خاصٍ في داخِلِ الصّارُوخِ . ويُحْمَلُ الوَقُودُ في خَزّاناتٍ كَبيرَةٍ تُؤَلِّفُ جُزْءًا مِنَ الصّارُوخِ وقَدْ تَسْتَغْرِقُ الجُزْءَ الأكْبَرَ مِنْ هَيْكَلِهِ كَما قَدْ يَبْلُغُ وَزْنُ الوَقُودِ الدّاسِرِ في الصّارُوخِ تِسعين في المِئَةِ مِنْ وَزْنِ الصّارُوخِ الإجْمالِيّ قَبْلَ انْطِلاقِهِ .لِذا يَنْبَغي اسْتِخْدامُ أنْواعٍ خاصَّةٍ مِنَ الوَقُودِ الدّاسِرِ بِحَيْثُ تُعْطي كَمِّيَّةُ الوَقُودِ أعْظَمَ قُوَّةٍ داسِرَةٍ بالنِّسْبَةِ لِوَزْنِها ولِلْحَجْمِ الّذي تَشْغَلُهُ ـ يَعْني أنَّ وَقُودَ الصَّواريخِ يَجِبُ أنْ يَكُونَ عَلى أعْلى دَرَجَةٍ مِنَ الكِفايَةِ .

كَذٰلِكَ يَنْبَغي أنْ تُوَفِّرَ خَزّاناتُ الوَقُودِ السَّعَةَ القُصْوَى بالوَزْنِ الأدْنى فالصّاروخُ الضَّيِّقُ القُطْرِ يُجابِهُ مُقاوَمَةً أقَلَّ مِنْ صارُوخٍ أوْسَعَ مَقْطَعًا لَدى انْطِلاقِهِ عَبْرَ جَوِّ الأرْضِ ، لِذا وَجَبَ أنْ تَحْتَلَّ خَزّاناتُ الوَقُودِ أقَلَّ مَدًى جانِبِيٍّ مُمْكِنٍ . كَما أنَّ ضَرُورَةَ تَخْفيفِ الوَزْنِ تَقْتَضي جَعْلَ جُدْرانِ الخَزّاناتِ رَقيقَةً وهٰذا يَسْتَلْزِمُ اسْتِخْدامَ مادَّةٍ مَتينَةٍ جدًّا لِصُنْعِ هٰذِهِ الخَزّاناتِ .

بَعْضُ أنْواعِ الخَزّاناتِ تُصْنَعُ مُنْفَصِلَةً ثُمَّ تُرَكَّبُ في داخِلِ أُنْبوبِ الصّارُوخِ ، بَيْنَما تُصْنَعُ أنْواعٌ أُخْرَى مِنَ الخَزّاناتِ كَجُزْءٍ مِنْ هَيْكَلِ الصّارُوخِ بِحَيْثُ إنَّ جِدارَ الصّارُوخِ نَفْسَهُ يَخْدُمُ كَجِدارٍ لِلْخَزّانِ أيْضًا . وهٰذا التَّصْميمُ يُساعِدُ في تَقْليلِ وَزْنِ الصّارُوخِ . وفي بَعْضِ أنْواعِ الصَّواريخِ تُرَكَّبُ خَزّاناتُ الوَقُودِ حَوْلَ جِسْمِ الصّارُوخِ الخارِجِيّ بِحَيْثُ يُمْكِنُ طَرْحُها بَعْدَ نَفادِ مُحْتَوَياتِها ، فَلا يَحْمِلُ الصّارُوخُ وَزْنًا غَيْرَ ذي فائِدَةٍ إلى ارْتِفاعاتٍ إضافِيَّةٍ .

صارُوخٌ مِنْ نَوْعِ رُومِبْس ذُو خَزّاناتٍ يُمْكِنُ طَرْحُها وإلى جانِبِهِ رَسْمٌ بَيانِيّ لِصارُوخٍ يَحْمِلُ خَزّانَ الوَقُودِ داخِلَ هَيْكَلِهِ الأُنْبوبِيّ



أنواعٌ مِنَ الوُقُدِ الدائِرَةِ

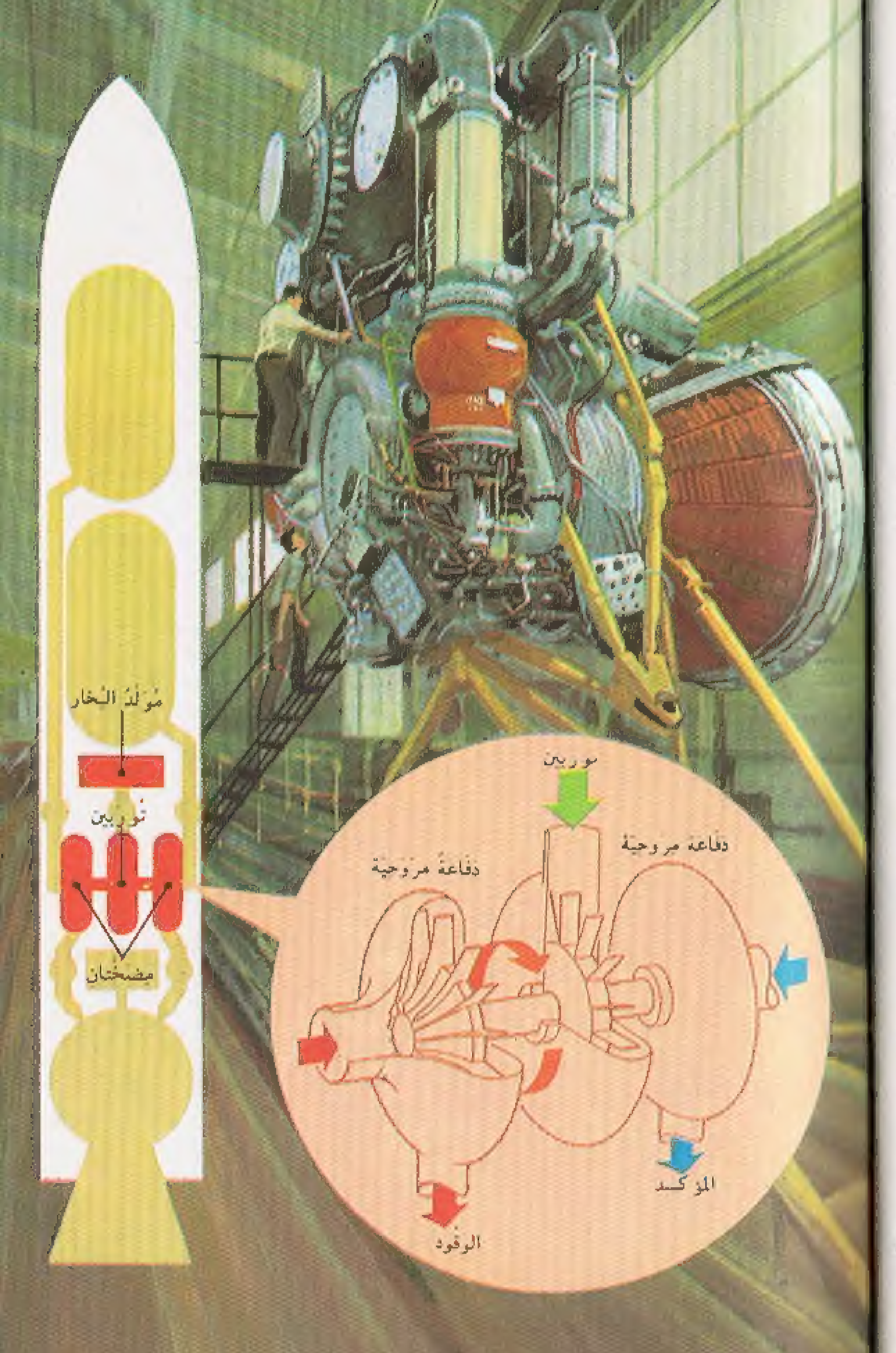
تحتاجُ محرِّكاتُ الاحتراقِ الداخليّ على اختلافِ أنواعِها إلى الأُكسيجينِ الذي يؤكسِدُ وقودَها فيزوِّدُها بالطاقةِ. فمحرِّكاتُ السيّاراتِ والطائراتِ تعملُ في هواءِ الجوِّ الذي منهُ تستمِدُّ حاجتَها مِنَ الأُكسيجينِ. أمّا الصواريخُ التي تحلِّقُ فوقَ جوِّ الأرضِ حيثُ ينعدِمُ الأُكسيجينُ فمِنَ الضروريِّ أنْ تحمِلَ معَها مؤونتَها مِنْ ذلكَ الغازِ.

معظَمُ الصواريخِ الكبيرةِ هيَ مِنَ النوعِ الثنائيِّ الوقودِ أي التي تستخدِمُ سائلَينِ منفصلَينِ، كلٌّ منهُما مختزَنٌ في خزّانٍ مختلِفٍ. أحدُ السائلَينِ هوَ المؤكسِدُ الذي يمدُّ الوقودَ بالأُكسيجينِ اللازِمِ لإشعالِهِ، والسائلُ الآخرُ هوَ الوقودُ الذي يحترِقُ في الأُكسيجينِ ويولِّدُ طاقةً على شكلِ غازاتٍ حارّةٍ تنطلِقُ بسرعةٍ عاليةٍ مِنْ حجرةِ الاحتراقِ (تذكَّرِ الوعاءَ ذا الطرفِ السُفليِّ المفتوحِ، صفحة ١٠). يُحمَلُ المؤكسِدُ عادةً كأُكسيجينٍ سائلٍ أوْ كسائلٍ آخرَ عالي المحتوى الأُكسيجينيِّ كحامِضِ النيتريكِ أوْ فوقِ أُكسيدِ الهيدروجينِ، ومِنَ البديهيِّ أفضليّةُ الأُكسيجينِ السائلِ في هذا المجالِ.

ويَنبغي احتراقُ الوقودِ بالكِفايةِ المُثلى لِتوفيرِ سُرعةِ انفلاتٍ قُصوى لِلغازاتِ المُنطلِقةِ. فالسُرعةُ التي تنطلِقُ بِها الغازاتُ المُندفِقةُ مِنْ حجرةِ الاحتراقِ هِيَ التي تُقرِّرُ قوّةَ اندفاعِ الصاروخِ في الاتّجاهِ المُعاكِسِ لانطلاقِها. فكلّما زادتْ كِفايةُ احتراقِ الوقودِ ازدادتْ سُرعةُ انفلاتِ الغازاتِ وازدادتْ بالتالي قوّةُ اندفاعِ الصاروخِ. والكيروسينُ (زيتُ الكازِ) هوَ أكثرُ أنواعِ الوُقُدِ الدائِرةِ استِعمالاً في الوقتِ الحاضِرِ. لكِنَّ الهيدروجينَ السائلَ الأخفَّ وزنًا والأكثرَ فعّاليّةً أخذَ يحلُّ مكانَهُ تدريجيًا.

وقدْ تُستخدَمُ الوُقُدُ الصُلبةُ أحيانًا لِدفعِ الصواريخِ، وهذهِ تمتازُ بسهولةِ اختزانِها دونَ تعرُّضِها لِلتبخُّرِ، ولكِنَّها أقلُّ كِفايةً وقُدرةً مِنَ الوُقُدِ السائلةِ.

صاروخٌ مِنْ طرازِ «ردستون» يحمِلُ عربةً فضائيّةً مِنْ طرازِ «ميركوري»



مِضَخّاتُ الوَقُودِ

عَرَفْنا في البَحْثِ السّابِقِ أنَّ مُعْظَمَ الصَّواريخِ الكَبِيرَةِ تَسْتَخْدِمُ سائِلَي وَقْدٍ، كُلُّ مِنْهُما مُخْتَزَنٌ على حِدَةٍ في خَزّانٍ مُنْفَصِلٍ. ولِكَيْ يَعْمَلَ الصّارُوخُ لا بُدَّ مِنْ إيصالِ هٰذَيْنِ السّائِلَيْنِ بِواسِطَةِ جِهازِ تَغْذِيَةٍ إلى حُجْرَةِ الاحْتِراقِ حَيْثُ يَجْرِي إشْعالُهُما.

وأوَّلُ مُسْتَلْزَماتِ جِهازِ التَّغْذِيَةِ هٰذا هُما المِضَخَّتانِ، اللَّتانِ تُثَبَّتانِ تَحْتَ خَزّانَي الوَقُودِ. ووَظِيفَةُ المِضَخَّتَيْنِ هِيَ ضَخُّ سائِلَي الوَقُودِ مِنْ خَزّانَيْهِما عَبْرَ صِماماتِ التَّحَكُّمِ والحاقِنِ إلى حُجْرَةِ الاحْتِراقِ. تَتألَّفُ المِضَخَّةُ مِنْ دُولابٍ ذِي أرْياشٍ، يُعْرَفُ بالتُّورْبِين، يُدارُ بِبُخارٍ عالي دَرَجَةِ الحَرارَةِ يُوَلَّدُ بِطُرُقٍ كِيماوِيَّةٍ. وتُرَكَّبُ المِضَخَّةُ بَيْنَ دَفّاعَتَيْنِ مِرْوَحِيَّتَيْنِ مُرَيَّشَتَيْنِ تَعْمَلانِ عَلى تَدْوِيرِ الوَقُودِ كَما تَعْمَلُ يَداكَ في حَوْضِ الحَمّامِ حِينَ تُقَلِّبُ كَفّاكَ المَفْتُوحَتانِ الماءَ عَبْرَهُ.

يُوَجَّهُ البُخارُ المُنْطَلِقُ نَحْوَ أرْياشِ التُّورْبِين فَيَدُورُ دُولابُ التُّورْبِين وهٰذا بِدَوْرِهِ يُدَوِّرُ الدَّفّاعَتَيْنِ المِرْوَحِيَّتَيْنِ اللَّتَيْنِ تَسْحَبانِ سائِلَي الوَقُودِ مِنْ خَزّانَيْهِما وتَدْفَعانِهِما باتِّجاهِ حُجْرَةِ الاحْتِراقِ. وتَعْمَلُ كُلٌّ مِنَ الدَّفّاعَتَيْنِ بِمَعْزِلٍ عَنِ الأُخْرَى، فَبَيْنَما تَضُخُّ إحْدَى الدَّفّاعَتَيْنِ السّائِلَ المُؤَكْسِدَ تَضُخُّ الثّانِيَةُ سائِلَ الوَقْدِ. ويَنْبَغِي التَّأكُّدُ بِشَكْلٍ قاطِعٍ أنَّ السّائِلَيْنِ لَنْ يَتَماسّا داخِلَ المِضَخَّتَيْنِ، لأنَّ ذٰلِكَ قَدْ يُؤَدِّي إلى حُدُوثِ انْفِجارٍ يُدَمِّرُ الصّارُوخَ بِأكْمَلِهِ.

تَسْتَهْلِكُ الصَّوارِيخُ كَمِّيّاتٍ كَبِيرَةً مِنَ الوَقُودِ بِسُرْعَةٍ فائِقَةٍ. وهٰذا يَسْتَوْجِبُ أنْ تَكُونَ دَفّاعَتا الضَّخِّ قادِرَتَيْنِ عَلَى الدَّوَرانِ بِسُرْعاتٍ عالِيَةٍ جِدًّا لِكَيْ تَعْمَلا عَلى مُداوَمَةِ تَدَفُّقِ الوَقُودِ إلى حُجْرَةِ الاحْتِراقِ بِكَمِّيّاتٍ كافِيَةٍ.

مُحَرِّكُ رُوكِيتْ دايْن ف ـ ١، أضْخَمُ مُحَرِّكٍ صارُوخِيٍّ أمِيرِكِيٍّ يَعْمَلُ بالوَقُودِ السّائِلِ



الصِّمامات والمحاقِنُ

تُقحَمُ الصِّماماتُ في عِدَّةِ نِقاطٍ مُتفرِّقةٍ داخِلَ جِهازِ تَغذِيَةِ الوَقُودِ في الصّارُوخِ، لِضَبْطِ تَدَفُّقِ سائِلَي الوَقُودِ مِنْ خزّانَيهِما إلى المِضَخَّتَيْنِ ثُمَّ إلى حُجْرَةِ الاحتِراقِ. كما تَعمَلُ الصِّماماتُ أيضًا عَلى تَنظِيمِ حَرَكَةِ البُخارِ الّذي يُشَغِّلُ تُورْبِينَ المِضَخَّتَيْنِ وعَلى مُعايَرَةِ كَمِّيَّتَي السّائِلِ المُتَدَفِّقِ إلى المِضَخَّتَيْنِ ومِنْهُما مَعَ تَعدِيلِ اتِّجاهِهِ. تَعمَلُ هذِهِ الصِّماماتُ أُوتُوماتِيًّا فتَنفَتِحُ لإمرارِ سائِلِ الوَقُودِ أوِ البُخارِ أوْ أيِّ مادَّةٍ أُخرَى عَبْرَ أُنبُوبِ التَّغذِيَةِ ثُمَّ تَنغَلِقُ تِلقائِيًّا عِندَما تَكُونُ الكَمِّيَّةُ المَطلُوبَةُ قَدِ اجتازَتْ مَوْقِعَ الصِّمامِ في أُنبُوبِ التَّغذِيَةِ. وإذا ما اختَلَّ العَمَلُ في أيٍّ مِنْ هذِهِ الصِّماماتِ المُتَعَدِّدَةِ فإنَّ ذلِكَ قَدْ يُؤَدِّي إلى تَدمِيرِ الصّارُوخِ تَدمِيرًا كامِلاً.

ويَكتَمِلُ جِهازُ تَغذِيَةِ الوَقُودِ في الصّارُوخِ بالمَحاقِنِ المُثبَّتَةِ في جِدارِ حُجْرَةِ الاحتِراقِ، حَيْثُ يَنتَهي كُلُّ مِحقَنٍ بمَنفَذٍ دَقِيقٍ يَبرُزُ إلى داخِلِ حُجْرَةِ الاحتِراقِ. ويَجري حَقْنُ سائِلَي المُؤَكسِدِ والوَقُودِ كُلٌّ عَلى حِدَة في مِحقَنِهِ ويَتَحَوَّلانِ بالضَّغطِ عَبْرَ المَنفَذَيْنِ إلى رَذاذٍ دَقِيقٍ (كَما يَحصُلُ في مِرذاذِ الرَّشِّ الّذي يُستَخدَمُ مَنزِلِيًّا في عِدَّةِ مَجالاتٍ، مِثلِ رَشِّ العُطُورِ وذَرِّ المُبِيداتِ الحَشَرِيَّةِ).

ومَحاقِنُ الوَقُودِ في الصَّوارِيخِ مُصَمَّمَةٌ بحَيْثُ يَتِمُّ ذَرُّ سائِلَي الأكسَدَةِ والوَقُودِ ومَزْجُهُما عَلى الوَجهِ الأكمَلِ في حُجْرَةِ الاحتِراقِ لِكَيْ يُنتِجا مَزِيجًا غازِيًّا يَحتَرِقُ بكِفايَةٍ قُصوَى.

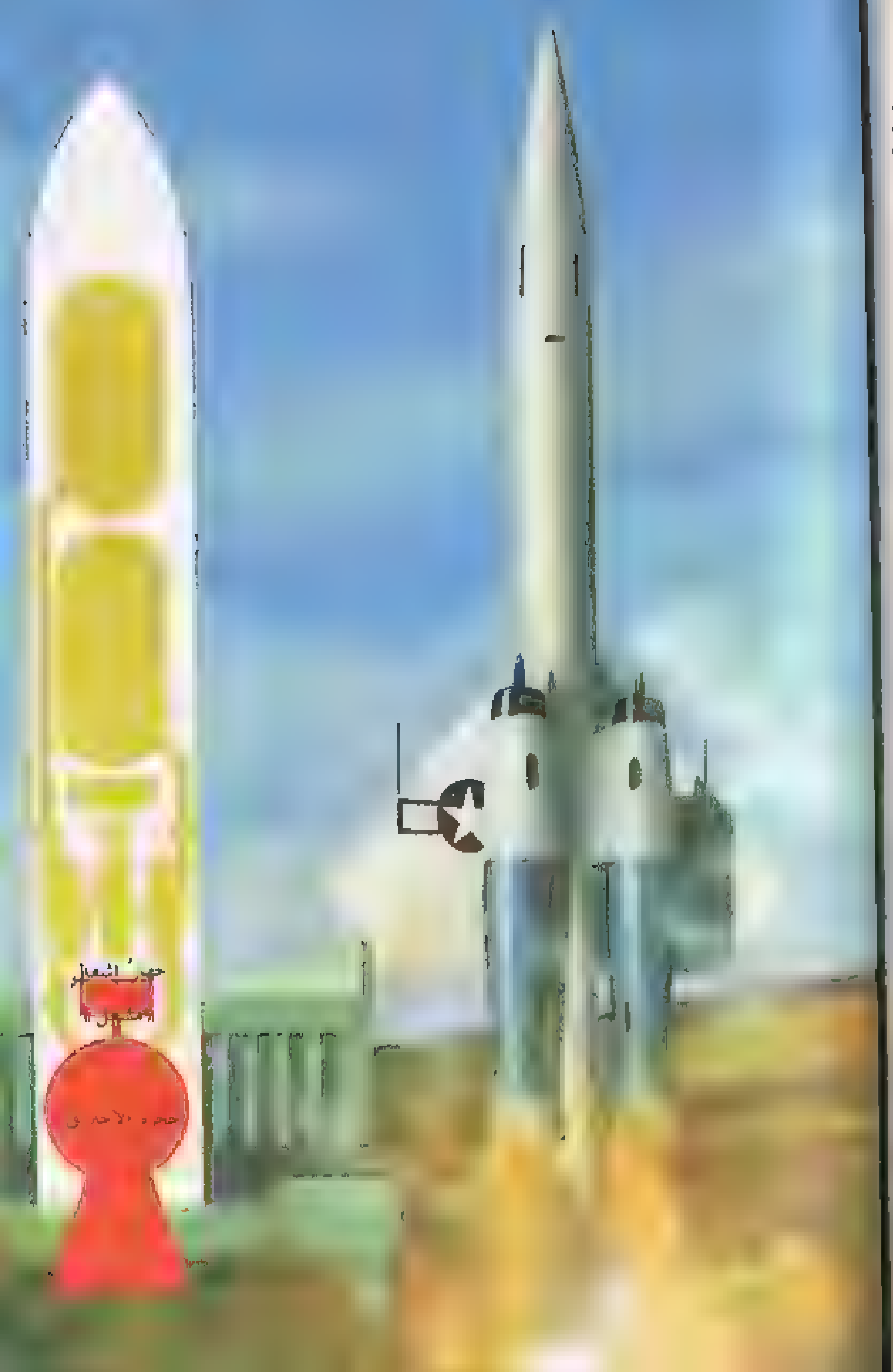
يُختَبَرُ الصّارُوخُ في ظُرُوفِ الانخِفاضِ الأدنَى لِدَرَجَةِ الحَرارَةِ

حُجْرَةُ الاحتراقِ وجهازُ الإشعالِ

لَقَدْ مَرَّ مَعَنا ذِكْرُ حُجْرَةِ الاحتراقِ مَرّاتٍ عِدَّةً في بَحْثِنا السّابِقِ. إنّها الجُزْءُ الأَهَمُّ مِن مُحَرِّكِ الصّارُوخِ لأنَّ فيها أخيرًا يَجْري تَوَلُّدُ قُوَّةِ الدَّفْعِ الّتي تُحَرِّكُ الصّارُوخَ. فَكُلُّ الأَجْهِزَةِ والأَقْسامِ الّتي سَبَقَ وَصْفُها لَها غَرَضٌ وَحيدٌ هُوَ إيصالُ مادَّتَي الأُكْسِدَةِ والوَقودِ إلى حُجْرَةِ الاحتراقِ حَيْثُ يَتِمُّ مَزْجُهُما وإحْراقُهُما بِكَمِّيّاتٍ تَكْفي ضَغْطَ انْفِلاتِ غازاتِها السُّفْلي لِتَوْليدِ رَدَّةِ الفِعْلِ الّتي تَدْفَعُ الصّارُوخَ صُعُدًا بِسُرْعَةٍ عالِيَةٍ.

بَعْضُ أَنْواعِ الوَقودِ والمُؤَكْسِداتِ تَشْتَعِلُ تِلْقائيًّا عِنْدَما يَخْتَلِطُ رَذاذُهُما المُنْتَشِرُ عَبْرَ مِبْخَتي المِحْقَنِ في حُجْرَةِ الاحتراقِ. لِذا كانَ مِنَ الضَّرورِيِّ بَذْلُ أَقْصَى العِنايَةِ لإبقاءِ مادَّتَي الأُكْسِدَةِ والوَقودِ مُنْفَصِلَتَيْنِ في أَجْزاءِ الصّارُوخِ المُخْتَلِفَةِ الأُخْرَى. لكِنَّ مُعْظَمَ مَزيجاتِ وَقودِ الدَّسْرِ المُسْتَخْدَمِ في الصَّواريخِ حالِيًّا هِيَ مِنَ النَّوْعِ الّذي يَحْتاجُ المَزيجُ الجاريَ مِنْهُ إلى مَصْدَرٍ حَرارِيٍّ لإشْعالِهِ في حُجْرَةِ الاحتراقِ.

وتُسْتَخْدَمُ أَنْواعٌ مُخْتَلِفَةٌ مِنْ أَجْهِزَةِ الإشْعالِ لِبَدْءِ عَمَلِيَّةِ الاحتراقِ في مُحَرِّكاتِ الصَّواريخِ الّتي لا يَشْتَعِلُ مَزيجُ وَقودِها الدّاسِرِ تِلْقائيًّا. مِنْ أَنْواعِ هذِهِ الأَجْهِزَةِ شَمْعَةُ الشَّرَرِ (كَما في مُحَرِّكِ السَّيّارَةِ)، وتُسْتَخْدَمُ عادَةً في مُحَرِّكاتِ الصَّواريخِ الصَّغيرَةِ وهُنالِكَ المُشْعِلاتُ الشَّبيهَةُ بالأَسْهُمِ النّارِيَّةِ الدَّوّارَةِ الّتي تُرَكَّبُ عَلى قَضيبٍ يُثَبَّتُ في مِنَصَّةِ الإطْلاقِ. ومِنْ أَجْهِزَةِ الإشْعالِ الأُخْرَى ما يُشْبِهُ حُجْرَةَ احتراقٍ صَغيرَةً جِدًّا تَتَّصِلُ بِحُجْرَةِ الاحتراقِ الرَّئيسِيَّةِ. فَفي حُجْرَةِ الاحتراقِ الصَّغيرَةِ تَعْمَلُ شَمْعَةُ شَرَرٍ عَلى إشْعالِ مَزيجِ الوَقودِ والمُؤَكْسِدِ، ويَعْمَلُ الانْفِجارُ النّاتِجُ بِدَوْرِهِ عَلى إشْعالِ حَمْلَةِ المَزيجِ في حُجْرَةِ الاحتراقِ الرَّئيسِيَّةِ.



قَذيفَةٌ صارُوخِيَّةٌ أَرْضٍ-جَوّ «مِنْ طِرازِ بُومارك رام جت» تَعْزِزُها وحْدَتانِ صارُوخِيَّتانِ

تبريدُ حُجْرَةِ الاحتراقِ

مِن الصعبِ على الشخصِ العاديّ تقديرُ شِدّةِ «درجةِ» الحرارةِ المتولّدةِ في داخلِ حُجرةِ الاحتراقِ في أثناءِ احتراقِ المزيجِ الدافع. إنّ درجةَ الحرارةِ التي تغلي عندها الماءُ هي درجةُ المئةِ سنتيغراد «مئويّة»، ونحنُ في العادةِ نعتبرُ أنّ هذه درجةُ حرارةٍ عاليةٌ. لكنّ درجةَ الحرارةِ في حُجرةِ الاحتراقِ قد تصلُ إلى درجةِ الثلاثةِ آلافِ سنتيغراد عندَ بدءِ الاحتراقِ.

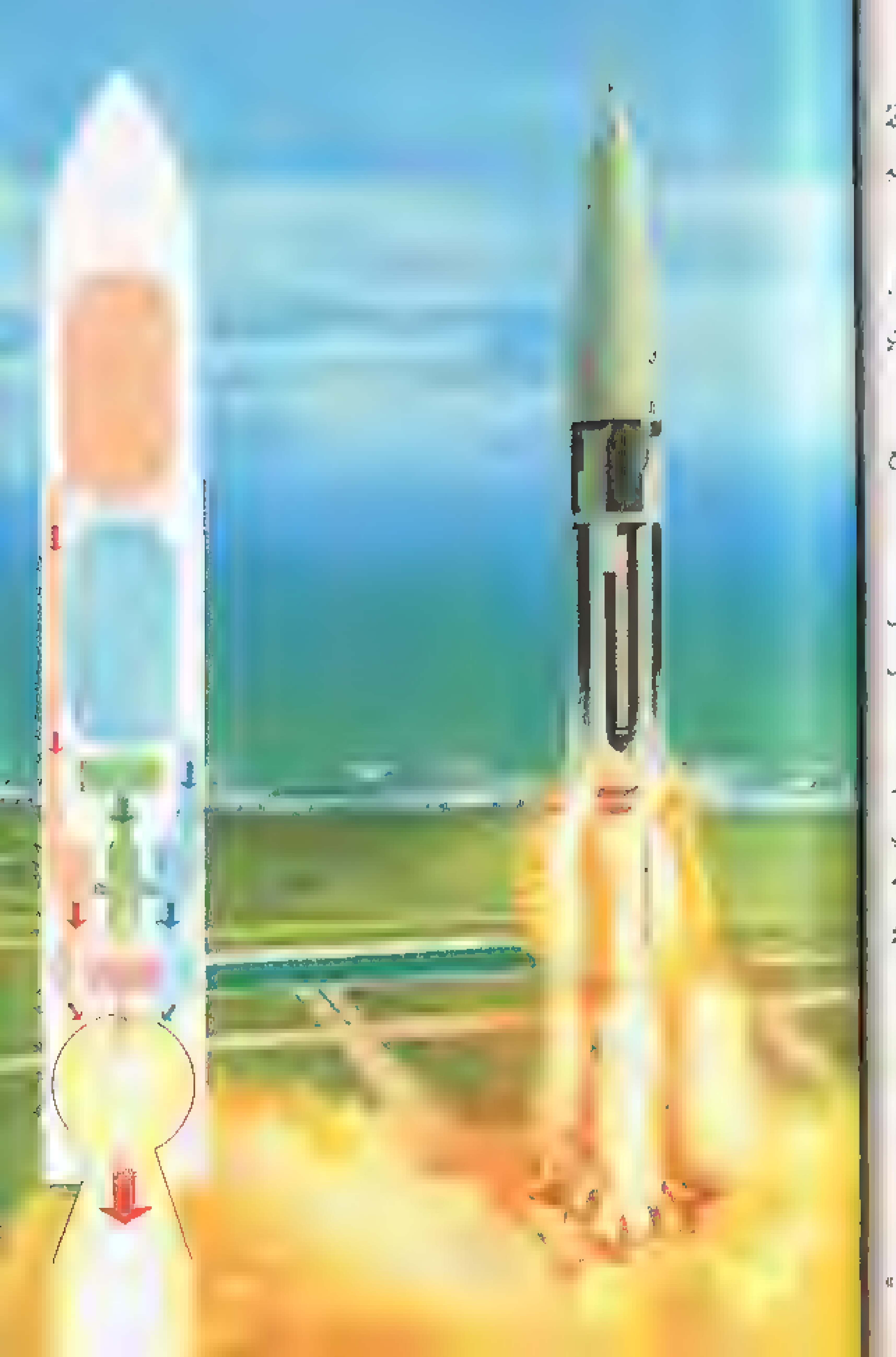
ودرجةُ الحرارةِ العاليةُ جدًّا هذه تثيرُ المشاكلَ لمصمّمي الصواريخ: فحُجرةُ الاحتراقِ يجبُ أن تُصنعَ من معدنٍ أو فيبرٍ ما، وأن تكونَ جُدرانُها رقيقةً بالقدرِ الممكنِ توفيرًا للوزنِ. ولمّا كانت درجةُ الحرارةِ العاليةُ هذه فوقَ ما يستطيعُ أيٌّ من المعادنِ المعروفةِ الصمودَ له دونَ أن ينصهرَ، كانَ من الضروريّ إيجادُ وسيلةٍ لتبريدِ جُدرانِ حُجرةِ الاحتراقِ منعًا لانصهارِها وتلاشيها.

وقد استُخدِمَت عدّةُ طُرُقٍ لتبريدِ حُجرةِ الاحتراقِ كانَ أفضلَها، من حيثُ الكفايةُ والفاعليّةُ، تصميمُ جدارٍ مزدوجٍ لحُجرةِ الاحتراقِ يفصلُ بينَ طبقتيهِ المعدنيّتينِ فراغٌ يملؤهُ سائلُ التبريد. فعندَ إمرارِ سائلِ التبريدِ بينَ طبقتي جدارِ حُجرةِ الاحتراقِ يمتصُّ السائلُ بعضًا من حرارةِ الطبقةِ الداخليّةِ المماسّةِ للغازاتِ المحترقةِ مباشرةً. وهكذا يعملُ جهازُ التبريدِ هذا تمامًا كما يعملُ الدثارُ المائيّ في تبريدِ محرّكِ السيّارةِ (انظر كتاب «كيفَ تعملُ السيّارةُ» في هذهِ السلسلةِ)

أمّا سائلُ التبريدِ المستخدَمُ في كُلِّ الصواريخِ تقريبًا فهوَ سائلُ الوقودِ نفسُهُ، حيثُ يدورُ كسائلِ تبريدٍ حولَ حُجرةِ الاحتراقِ قبلَ أن يُحقَنَ ويُحرَقَ فيها. ويُعرفُ نظامُ التبريدِ هذا بالتبريدِ الاسترجاعيّ



صاروخٌ من طرازِ ساترن قيدَ التركيب



كيْفَ يَعْمَلُ مُحرّكُ الصّارُوخ

بعد أنْ عرضنا مبادىء عمل الصّارُوخ ووصفنا الأجزاء المختلفة التي تؤلّفُ محرّكه سنعالج في يلي الطريقة التي يؤدّي بها كلُّ جزءٍ وظيفته وكيفية التي يتمُّ بها بدء عملية الإشتعال ومُداومتها

١ تُفتحُ الصمامات المتصلة بخزانات الوقود والمؤكسد فتنسابُ السائلان من خزانيهما، إلى أسفل محرّكه عبر أنابيب التوصيل بفعل الجاذبية، ويندفعان عبر صمامات مفتوحة أخرى نحو المضختين والمحقن حيث يمتزجان في حجرة الاحتراق

٢ يشتعلُ مزيجُ الوقود والمؤكسد في حُجرة الاحتراق مولّدًا دفعًا أوليًا. لكن هذا الدّفع الأوّليّ قليلُ القُدرةِ ولا يكفي لانطلاقِ الصّارُوخ. فالمضخّتان لمّا تعملا بعدُ لدفع سائلَي الوَقُودِ الدّافع بالكمّيّات اللازمةِ إلى حُجرةِ الاحتراق

٣. ثُمّ تنفتحُ صِمامات أُخرى تسمَحُ بِمَوادِ الكيمِاوِيّةِ المُولّدَة لبُخارِ تشغيلِ توربين المضختين بالامتزاجِ والتفاعُل، فيَعمَلُ البُخارُ المُنطلقُ على تدويرِ التوربين وتشغيلِ دفّاعتَي المضخّ المزدوجتين،

٤ عندما تبدأ المضختان عملهما فإنّهما تسحبان سائلَي الوقود والمؤكسد عبر جهاز لتغذيه بكمّيات أكبر وبسرعة أشد. وهكذا يُدفعُ سائلا الوقود الدافع ويُخزّن في حُجرة الاحتراق بمعدّلٍ متزايدٍ حتى يبلغ ضغط الغازات أسفل المخارج المنطلقة الدرجة الكافية لتوليدِ ردّةِ الفعلِ اللازمةِ لانطلاقِ الصّارُوخِ في الهواءِ بسُرعةٍ مُستمرّةِ التزايد

وهكذا تتّضحُ لنا البساطةُ النسبيّةُ التي تتعاقبُ بها دورةُ التشغيل الفعليّة في محرّك الصّارُوخ

إطلاقُ صاروخٍ من طرازِ «ساترن، ب-١/أبولو»



أنواعٌ مُختَلِفَةٌ مِنَ الصَّوارِيخِ

مِنَ الطَّبيعيِّ في عَصْرِ الفَضاءِ المُثيرِ هذا أنْ يَسْتَقْطِبَ اهْتِمامَنا دَوْرُ الصّارُوخِ كَمَرْكَبَةٍ تَحْمِلُ رُوّادَ الفَضاءِ وتَنْدَفِعُ بِمَرْكَبَتِهِمْ عَبْرَ الأجْواءِ العُلْيا نَحْوَ القَمَرِ مَثَلاً بِسُرْعَةٍ تُقارِبُ الأرْبعينَ ألفَ كيلومِترٍ في السّاعَةِ. لكِنَّ هذا الدَّوْرَ الرّائِعَ المُثيرَ يَجِبُ ألّا يَجْعَلَنا نُغْفِلُ وظائِفَ الصّارُوخِ المُخْتَلِفَةَ ومَجالاتِ اسْتِعْمالِهِ المُتَعَدِّدَةَ الأُخْرى.

فَنَذْكُرُ أوَّلاً، بالطَّبْعِ، الأسْهُمَ النّارِيَّةَ الّتي يَسْتَمْتِعُ الكِبارُ والصِّغارُ بِإطْلاقِها في الأعْيادِ والأفْراحِ. وهٰذِهِ الصَّوارِيخُ الصَّغيرَةُ لا تُقاسُ بالصَّوارِيخِ الّتي تَحْمِلُ المَرْكَباتِ الفَضائِيَّةَ ولكِنَّها تَعْمَلُ حَسَبَ المَبْدَأِ نَفْسِهِ وبِها كانَتْ بِدايَةُ فِكْرَةِ الصّارُوخِ وإخْتِراعِهِ المُثيرَةِ. يَسْتَخْدِمُ السَّهْمُ النّارِيُّ كَمِّيَّةً قَليلَةً مِنَ الوَقُودِ الصُّلْبِ يُشْعِلُها فَتيلٌ يَتَدَلّى مِنْ طَرَفِهِ السُّفْلِيِّ. فَعِنْدَ إضْرامِ الفَتيلِ يَسْري اللَّهَبُ إلى مَخْزُونِ الوَقُودِ الّذي يَحْتَرِقُ بِشِدَّةٍ وسُرْعَةٍ مُوَلِّداً ضَغْطاً سُفْلِيّاً بانْدِفاقِ الغازاتِ المُتَفَلِّتَةِ. وتَعْمَلُ رَدَّةُ الفِعْلِ النّاتِجَةُ على دَفْعِ السَّهْمِ النّارِيِّ لِيُحَلِّقَ في الهَواءِ. أمّا عُودُ السَّهْمِ الحامِلُ لِخَزّانِ الوَقُودِ فَوَظيفَتُهُ تَنْحَصِرُ في ضَبْطِ اتِّجاهِ السَّهْمِ واسْتِقْرارِهِ ومَنْعِهِ مِنَ الانْقِلابِ والسَّيْرِ في اتِّجاهٍ خاطِئٍ.

وتُزَوَّدُ بَعْضُ الطّائِراتِ بِصَوارِيخَ مُعَزِّزَةٍ لِلدَّفْعِ. مِثْلُ هٰذِهِ الصَّوارِيخِ تُساعِدُ الطّائِرَةَ المُقاتِلَةَ في الإقْلاعِ بِسُرْعَةٍ وتُمَكِّنُها مِنْ بُلُوغِ الارْتِفاعِ المُناسِبِ في أقْصَرِ وَقْتٍ مُمْكِنٍ. وكَذٰلِكَ تُساعِدُ الصَّوارِيخُ المُعَزِّزَةُ الطّائِراتِ الثَّقيلَةَ الحُمُولَةِ على الإقْلاعِ مِنْ مَطاراتٍ قَصيرَةِ المَدارِجِ، كَما تُؤازِرُ الطّائِراتِ المُنْطَلِقَةَ على ارْتِفاعٍ عالٍ حَيْثُ يَقِلُّ دَفْعُ الهَواءِ وقُوَّةُ رَفْعِهِ.

طائِرَةٌ مُطارِدَةٌ مِنْ طِرازِ ستارفايتر، ف ١٠٤ ج تُقْلِعُ مُعَزَّزَةً بِدَفْعِ صارُوخٍ يَعْمَلُ بالوَقُودِ الصُّلْبِ



أنواعُ أُخرى مِنَ الصّواريخِ

يُمكِنُ استخدامُ الصّواريخِ لإنقاذِ الرُّكّابِ مِنْ سفينةٍ مُهدَّدةٍ بالغرقِ. وذلكَ بنصبِ مُعدّاتٍ على الشّاطئِ أوْ على سفينةٍ أُخرى وإطلاقِ صاروخٍ صغيرٍ منها ليَحمِلَ إلى السّفينةِ المنكوبةِ حبلَ إنقاذٍ يُمكِنُ بواسطتِهِ جرُّ مُعدّاتِ الإنقاذِ المؤلّفةِ مِنْ عوّاماتٍ وأحزمةِ طفوٍ إليها. وقدْ تمَّ بهذهِ الوسيلةِ إنقاذُ حياةِ آلافِ الأشخاصِ في المناطقِ القريبةِ من الشّواطئِ البريطانيّةِ حيثُ تُستخدَمُ هذهِ الطّريقةُ في الإنقاذِ مُنذُ حوالي مئةِ عامٍ. وأحيانًا تقومُ السُّفنُ الصّغيرةُ المُشرفةُ على الغرقِ بإطلاقِ صواريخِ استغاثةٍ لتلفتَ إليها الانتباه.

وهُناكَ مجالاتُ استخدامٍ أقلُّ اتّسامًا بالطّابعِ السِّلْميّ للصّواريخ، إذْ تُستخدَمُ القذائفُ (كما تُسمّى الصّواريخُ المُسخَّرةُ لهذا الغرضِ) لِضربِ أهدافٍ مختلفةٍ ومُتنوّعةٍ في أيّامِ الحربِ. فهُناكَ مثلًا قذائفُ أرض - أرض، أي قذائفُ تُطلَقُ مِنْ مواقعَ أرضيّةٍ إلى أهدافٍ أرضيّةٍ كالصّاروخِ الألمانيّ ف ٢ الذي استُخدِمَ في الحربِ العالميّةِ الثانية. وهُناكَ قذائفُ أرض - جوّ تُستخدَمُ كسلاحٍ مضادٍّ للطّائراتِ وهُناكَ أيضًا قذائفُ جوّ - جوّ يُمكِنُ لطائرةٍ أنْ تُطلِقَها على طائرةٍ أُخرى. ومِنْ هذهِ القذائفِ كذلكَ قذائفُ جوّ - أرض تُطلِقُها الطّائراتُ على أهدافٍ أرضيّةٍ وقذائفُ مُضادّةٌ للصّواريخِ مُصمَّمةٌ لاعتراضِ القذائفِ وتفجيرِها قبلَ بلوغِها أهدافَها.

كلُّ هذهِ القذائفِ هي أنواعٌ مِنَ الصّواريخِ تعملُ حسبَ المبادئِ التي سبقَ ذِكرُها في هذا الكتابِ. إنّها تختلفُ مِنْ حيثُ حجمُها أوْ مِنْ حيثُ الأجهزةُ الخاصّةُ التي توجّهُها إلى أهدافِها ولكنَّ محرّكاتِها كلَّها تعملُ كمحرّكاتٍ صاروخيّة.

قذائفُ صاروخيّةٌ أرض - جوّ مِنْ طرازِ «بلَدْهاوند»



المَحَطّاتُ الأَرْضِيَّةُ

تَنْتَشِرُ حَوْلَ الكُرَةِ الأَرْضِيَّةِ سِلْسِلَةٌ مِنَ المَحَطّاتِ الَّتي تَتَلَقّى المَعْلُوماتِ مِنَ التَّوابِعِ والسَّوابِرِ الفَضائِيَّةِ وتَحُلُّ رُمُوزَها، وكَثيرًا ما تَتَوَلّى هذِهِ المَحَطّاتُ نَفْسُها مُهِمَّةَ الإِشْرافِ عَلى العَمَلِيّاتِ الفَضائِيَّةِ وتَوْجيهِها.

فَشَبَكَةُ المَحَطّاتِ الأَرْضِيَّةِ الأَمْريكِيَّةِ الَّتي تَتَوَلّى مُتابَعَةَ المَرْكَباتِ الفَضائِيَّةِ المَأْهُولَةِ مَثَلًا تَتَأَلَّفُ مِنْ ثَلاثَ عَشْرَةَ مَحَطَّةً نِظامِيَّةً بِالإِضافَةِ إِلى عَدَدٍ مِنْ سُفُنِ التَّعَقُّبِ والمُساعَدَةِ حَسْبَما تَقْتَضيهِ الحاجَةُ، وذلِكَ لِتَأْمينِ الاتِّصالِ المُسْتَمِرِّ بَيْنَ كَبْسُولَةِ رُوّادِ الفَضاءِ والأَرْضِ. ويَبْلُغُ مِنْ دِقَّةِ هذِهِ المَحَطّاتِ المُدْهِشَةِ أَنَّ رادارَ المَحَطَّةِ مِنْها مَثَلًا يَسْتَطيعُ تَحْديدَ مَوْقِعِ الكَبْسُولَةِ عَلى بُعْدِ ٨٠٠ كيلومِتْرٍ بِخَطَإٍ لا يَتَجاوَزُ السِّتَّةَ أَمْتارٍ.

وتَقُومُ المَحَطّاتُ الأَرْضِيَّةُ في الواقِعِ بِأَرْبَعِ وَظائِفَ مُخْتَلِفَةٍ هِيَ التّالِيَةُ:

التَّعَقُّبُ. أَيْ مُتابَعَةُ تَحْديدِ مَوْقِعِ التّابِعِ أَوِ السّابِرِ الفَضائِيِّ بِاسْتِمْرارٍ. وتَحْديدُ المَوْقِعِ بالِغُ الأَهَمِّيَّةِ ويَعْني رَبْطَهُ بِزَمَنٍ مُعَيَّنٍ، فَذلِكَ ضَرُورِيٌّ لإِرْسالِ التَّعْليماتِ بِجَمْعِ المُلاحَظاتِ أَوْ بَثِّ المُعْطَياتِ أَوْ تَغْييرِ المَسارِ.

التِّليمِتْرِيَّةُ (القِياسُ عَنْ بُعْدٍ) ويَنْطَوي هذا القِياسُ عَلى تَحْويلِ المَعْلُوماتِ إِلى إِشاراتٍ تَتَلَقّاها المَحَطّاتُ الأَرْضِيَّةُ فَتَفُكُّ رُمُوزَها. ويُمْكِنُ بِتَقَبُّبِ التِماسِ الرّادْيُوِيَّةِ هذِهِ وَصْفُ كُلِّ شَيْءٍ مِنْ مِقْدارِ ضَغْطِ دَمِ الرّائِدِ الفَضائِيِّ وسُرْعَةِ نَبْضِهِ إِلى شِدَّةِ الحَقْلِ المَغْنَطيسِيِّ لِلأَرْضِ.

التَّوْجيهُ. ويَتِمُّ بِتَعاوُنِ شَبَكَةِ المَحَطّاتِ الأَرْضِيَّةِ. فَهُنالِكَ مَعْلُوماتٌ لا بُدَّ مِنْ جَمْعِها والعَمَلِ فَوْرًا بِمُقْتَضاها كَما في رِحْلاتِ رُوّادِ الفَضاءِ المَأْهُولَةِ. وهُنالِكَ مُعْطَياتٌ تَقْتَضيها ضَرُورَةُ إِشْعارِ المَحَطَّةِ التّالِيَةِ بِمَوْعِدِ عُبُورِ المَرْكَبَةِ لِمَدارِها.

التَّحَكُّمُ. ويَعْني اسْتِخْدامَ جِهازِ الإِرْسالِ اللاسِلْكِيِّ في مَحَطَّةٍ أَرْضِيَّةٍ لِبَثِّ إِشاراتٍ تَجْعَلُ التّابِعَ يَقُومُ بِعَمَلٍ مُحَدَّدٍ كَأَنْ يُشْغِلَ الكاميرا أَوْ يُوقِفَها أَوْ أَنْ يُغَيِّرَ اتِّجاهَهُ أَوْ أَنْ يُطْلِقَ صارُوخًا أَوْ سِوى ذلِكَ مِنَ الأَعْمالِ.

مشهدٌ لغرفةِ مُراقبةِ التوابعِ الفضائيّةِ في «كيب كِندي»



الحِمْلُ الآجِرُ (حُمُولَةُ الصّارُوخِ)

يحوي مخروطُ المقدمةِ في الصاروخِ الحِملَ الآجرَ وهو الحمولةُ النافعةُ التي من أجلِ نقلِها يُبنى الصاروخُ ويُطلَقُ.

وليسَ مُصطلحُ الحِملِ الآجرِ خاصًّا بالصواريخِ، فهُوَ يُطلَقُ على الحُمُولةِ التي تنقلُها وسيلةُ النقلِ مهما كانَ نوعُها. فالسيّارةُ تحمِلُ الناسَ، والشاحناتُ تنقلُ البضائعَ، والقطاراتُ والسُّفُنُ والطائراتُ تحمِلُ المسافرينَ والبضائعَ. وهذهِ الحُمُولاتُ على تنوُّعِها هي الحِملُ الآجرُ للعرباتِ المختلفةِ.

ولمّا كانتِ الصواريخُ تُستخدَمُ لأغراضٍ مختلفةٍ فإنَّ أحمالَها الآجرةَ تختلفُ. فالحِملُ الآجرُ بالقذيفةِ هو رأسٌ حربيٌّ متفجّرٌ، بينما حِملُ مركبةِ الأبحاثِ العلميّةِ هو أدواتٌ وأجهزةٌ علميّةٌ أو تابعٌ صُنعيٌّ كاملُ المُعَدّاتِ. ولعلَّ أكثرَ الأحمالِ الآجرةِ إثارةً هو كبسولةٌ فضائيّةٌ، تُقِلُّ بعضَ رُوّادِ الفضاءِ، يحمِلُها صاروخٌ إلى مدارٍ حولَ الأرضِ أو ينطلقُ بها نحوَ القمرِ.

إنَّ الصواريخَ هيَ أكثرُ وسائلِ النقلِ المختلفةِ كلفةً، ويعودُ سببُ ذلكَ أصلًا إلى قوّةِ الدفعِ الضخمةِ التي ينبغي أن يُولِّدَها الصاروخُ للتغلُّبِ على جاذبيةِ الأرضِ. وكذلكَ لأنّهُ لا يُمكنُ استخدامُ الصاروخِ الواحدِ إلّا لرحلةٍ واحدةٍ فقط. وبالمقارنةِ تبدو وسائلُ النقلِ الأرضيّةُ أكثرَ كفاءةً واقتصاديّةً. فالسيارةُ الصغيرةُ مثلًا تحمِلُ أربعةَ رُكّابٍ، والشاحنةُ التي تزنُ طنًّا بمفردِها تحمِلُ ثلاثةَ أطنانٍ. وهكذا كُلُّ وسائلِ النقلِ الأرضيّةِ الأُخرى تستطيعُ نقلَ حِملٍ آجرٍ تُعادلُ نسبةً مئويّةً عاليةً مِن وزنِها هي. أمّا الصاروخُ الفضائيُّ فوزنُهُ عادةً عندَ الإطلاقِ يفوقُ وزنَ حِملِهِ الآجرِ بثلاثينَ أو أربعينَ ضِعفًا، وذلكَ بسببِ كميّةِ الوقودِ الضخمةِ التي يُزوَّدُ بها لإعمالِ محرِّكاتِهِ. وبالطبعِ يتناقصُ وزنُ الصاروخِ كُلّما ابتعدَ في انطلاقِهِ مُستهلِكًا كميّاتٍ متزايدةً مِنَ الوقودِ.

مختبرٌ أمريكيٌّ مأهولٌ في مدارٍ حولَ الأرضِ



قُوَّةُ الجاذِبِيَّةِ الأَرْضِيَّةِ (الثَّقالَة)

بَعْدَ أَنْ بَسَطْنا كَيْفِيَّةَ عَمَلِ الصّارُوخِ ومَجالاتِ اسْتِخْدامِهِ يُمْكِنُنا مُتابَعَةُ البَحْثِ في نَواحٍ أُخْرى تَتَعَلَّقُ بِتَشْغيلِ الصَّواريخِ وإِطْلاقِها ولْنَسْتَعْرِضْ مَعًا بَعْضَ القُوَى الخارِجِيَّةِ الَّتي يَجِبُ التَّغَلُّبُ عَلَيْها قَبْلَ أَنْ يَسْتَطيعَ الصّارُوخُ مُغادَرَةَ الأَرْضِ والانْطِلاقَ إلى الفَضاءِ

لِنَبْدَأْ بِبَعْضِ التَّساؤُلاتِ : ما الَّذي يَجْعَلُ الأَشْياءَ بِطَبيعَتِها تَبْقى في مَكانِها عَلى الأَرْضِ ؟ ولِماذا تَعُودُ الطّابَةُ (الكُرَةُ) دائِمًا إلى الأَرْضِ بَعْدَ قَذْفِها صُعُدًا في الهَواءِ ، بَلْ لِماذا نَسْقُطُ نَحْنُ إلى أَسْفَلَ حينَما نَقَعُ ؟ الجَوابُ واحِدٌ عَنْ كُلِّ هٰذِهِ التَّساؤُلاتِ ، وهُوَ : « بِفِعْلِ جاذِبِيَّةِ الأَرْضِ » . تَبْقى الأَشْياءُ عَلى الأَرْضِ لأَنَّ جاذِبِيَّةَ الأَرْضِ تَشُدُّها إلى أَسْفَلَ ، ونَسْقُطُ إلى أَسْفَلَ كُلَّما نَقَعُ لأَنَّ جاذِبِيَّةَ الأَرْضِ تَشُدُّنا إلى أَسْفَلَ ـ والشَّيْءُ نَفْسُهُ يُقالُ عَنِ الطّابَةِ ، إِنَّها لا تَسْقُطُ مِنْ تِلْقاءِ نَفْسِها بَلْ تَسْقُطُ لأَنَّ جاذِبِيَّةَ الأَرْضِ تَشُدُّها . الجاذِبِيَّةُ خاصَّةٌ طَبيعِيَّةٌ في كُلِّ الأَجْسامِ ، تَتَناسَبُ طَرْدِيًّا مَعَ الكُتْلَةِ ، فَكُلَّما زادَتْ كُتْلَةُ الجِسْمِ « أَي مِقْدارُ ما فيهِ مِنَ المادَّةِ » تَزْدادُ قُوَّةُ جاذِبِيَّتِهِ وحَيْثُ إِنَّ كُتْلَةَ الأَرْضِ هائِلَةُ العِظَمِ بِالنِّسْبَةِ لِكُلِّ شَيْءٍ عَلَيْها ، فَإِنَّ كُلَّ شَيْءٍ يُشَدُّ نَحْوَ مَرْكَزِها وبِكَلِماتٍ أُخْرى أَنْتَ تَسْقُطُ إلى أَسْفَلَ لأَنَّكَ لا تَسْتَطيعُ شَدَّ الأَرْضِ إلى أَعْلى

هُنالِكَ طَريقَتانِ لِلتَّغَلُّبِ عَلى جاذِبِيَّةِ الأَرْضِ ، مُؤَقَّتًا عَلى الأَقَلِّ ، أُولاهُما بَذْلُ قُوَّةٍ إلى أَعْلى تَفُوقُ قُوَّةَ جَذْبِ الأَرْضِ ، كَأَنْ نَرْفَعَ الكُرَةَ عَنِ الأَرْضِ مَثَلاً . وثانِيَتُهُما السُّرْعَةُ ، فَكُلَّما ازْدادَتِ الشِّدَّةُ الَّتي تُقْذَفُ بِها الطّابَةُ ازْدادَ العُلُوُّ الَّذي تَبْلُغُهُ (١ ، ٢)

ومِنَ القُوَى الخارِجِيَّةِ الأُخْرى الَّتي تُجابِهُ انْطِلاقَ الصّارُوخِ مُقاوَمَةُ جَوِّ الأَرْضِ لَهُ ، وهٰكَذا تَزْدادُ كِفايَةُ الصّارُوخِ وفَعّالِيَّتُهُ كَثيرًا حَيْثُ يَنْعَدِمُ هَواءُ الجَوِّ

العَلاقَةُ بَيْنَ تَناقُصِ الجاذِبِيَّةِ الأَرْضِيَّةِ (ج)
والبُعْدِ عَنْ مَرْكَزِ الأَرْضِ (٣)



التَّخَلُّصُ مِنْ جاذِبِيَّةِ الأَرْضِ

لقد تعوَّدْنا العَيْشَ مَعَ جاذِبِيَّةِ الأَرْضِ وأَلِفْناها كَشَيْءٍ طَبيعيٍّ عاديٍّ نَكادُ لا نُعيرُهُ اهْتِمامًا أَوْ تَفْكيرًا خاصًّا. لكِنَّ قُوَّةَ الجاذِبِيَّةِ هِيَ إِحْدى أَهَمِّ العَوامِلِ الَّتي تُحَدِّدُ انْطِلاقَ الصّارُوخِ ولا بُدَّ مِنَ التَّغَلُّبِ عَلَيْها إِذا ما أَرَدْنا لِلصّارُوخِ الانْطِلاقَ إِلى الفَضاءِ أَوْ حَتَّى الإِقْلاعَ مِنْ مِنَصَّةِ إِطْلاقِهِ.

ويَكْمُنُ سِرُّ التَّخَلُّصِ مِنْ جاذِبِيَّةِ الأَرْضِ في المَثَلِ الَّذي أَوْرَدْناهُ في الصَّفْحَةِ السّابِقَةِ عَنْ قَذْفِ الطّابَةِ. فَكُلَّما ازْدادَتِ الشِّدَّةُ الَّتي تُقْذَفُ بِها الطّابَةُ ازْدادَتْ سُرْعَتُها وازْدادَ بالتّالي الارْتِفاعُ الَّذي تَبْلُغُهُ. ذلِكَ السِّرُّ في الواقِعِ هُوَ السُّرْعَةُ. فَلَوِ اسْتَطَعْنا قَذْفَ الكُرَةِ بالشِّدَّةِ الكافِيَةِ فَإِنَّها سَتَصْعَدُ وتَصْعَدُ وتَصْعَدُ، ولَنْ تَعُودَ أَبَدًا! والسُّرْعَةُ الَّتي يَنْبَغي قَذْفُ الجِسْمِ بِها لِيَفْعَلَ ذلِكَ تُسَمَّى «سُرْعَةَ الإِفْلاتِ». ونَحْنُ طَبْعًا لَنْ نَسْتَطيعَ قَذْفَ الكُرَةِ بِتِلْكَ الشِّدَّةِ. فَسُرْعَةُ الانْطِلاقِ اللّازِمَةُ لِلإِفْلاتِ مِنْ جاذِبِيَّةِ الأَرْضِ تَمامًا هِيَ ١١,٢ كيلومِتْرٍ في الثّانِيَةِ أَيْ ما يَزيدُ عَلى أَرْبَعينَ أَلْفَ كيلومِتْرٍ في السّاعَةِ.

بَعْدَ أَنْ تَبْلُغَ المَرْكَبَةُ الفَضائِيَّةُ المُنْطَلِقَةُ سُرْعَةَ الإِفْلاتِ تُصْبِحُ في غِنًى عَنِ المَزيدِ مِنْ قُوَّةِ الدَّفْعِ. فالصّارُوخُ المُتَّجِهُ إِلى القَمَرِ مَثَلًا «يَنْسابُ» المَسافَةَ الباقِيَةَ بَعْدَ بُلُوغِهِ هذِهِ السُّرْعَةَ إِذْ تَعُودُ جاذِبِيَّةُ الأَرْضِ غَيْرَ قادِرَةٍ عَلى اسْتِعادَتِهِ. كَما تَنْعَدِمُ في الفَضاءِ مُقاوَمَةُ الهَواءِ الَّتي قَدْ تُبْطِئُ سَيْرَهُ. وهذا الانْسِيابُ هُوَ ما يُسَمّى بِـ«السُّقُوطِ الطَّليقِ». ولا يَعْني ذلِكَ سُقُوطَ الصّارُوخِ باتِّجاهِ الأَرْضِ بَلْ يَعْني انْسِيابَ الصّارُوخِ عَبْرَ الفَضاءِ بِحُرِّيَّةٍ دُونَ الحاجَةِ إِلى قُوَّةِ دَفْعٍ، كالدَّرّاجَةِ المُنْسابَةِ فَوْقَ سَطْحٍ مُنْحَدِرٍ.

والسُّقُوطُ الطَّليقُ هُوَ أَمْرٌ بالِغُ الأَهَمِّيَّةِ في رِيادَةِ الفَضاءِ، إِذْ إِنَّهُ يَسْتَحيلُ تَحْميلُ الصّارُوخِ بِما يَكْفيهِ مِنَ الوَقُودِ اللّازِمِ لِطَيَرانٍ مَدْفُوعٍ طَوالَ مُدَّةِ انْطِلاقِهِ

الصّارُوخُ المُتَعَدِّدُ المَراحِلِ

في عِلْمِ الصَّواريخِ، كَما في سِواهُ، غالِبًا ما يَقودُنا حَلُّ مُشْكِلَةٍ ما إلى مُشْكِلَةٍ أُخْرى. فَبَعْدَ تَحْديدِ سُرْعَةِ الانْفِلاتِ مِنْ جاذِبِيَّةِ الأَرْضِ بِـ ١١,٢ كيلومِتْرٍ في الثّانِيَةِ كانَتِ المُشْكِلَةُ التّالِيَةُ هِيَ كَيْفِيَّةُ تَحْقيقِ هٰذِهِ السُّرْعَةِ. فَمَا لُوقُودِ الدّاسِرِ المُسْتَخْدَمِ حالَئِذٍ يَسْتَحيلُ على أَيِّ صارُوخٍ مُفْرَدٍ أَنْ يَبْلُغَ هٰذِهِ السُّرْعَةَ أَمامَ قُوَّةِ الجاذِبِيَّةِ وَشِدَّةِ مُقاوَمَةِ هَواءِ الجَوِّ. لِذا سْتَنْبَطَ العُلَماءُ طَريقَةً لِوَصْلِ صارُوخَيْنِ أَوْ ثَلاثَةٍ مَعًا، واحِدًا فَوْقَ الآخَرِ. هٰكَذا الصّارُوخُ المُتَعَدِّدُ المَراحِلِ.

يَعْمَلُ الصّارُوخُ المُتَعَدِّدُ المَراحِلِ حَسَبَ التَّرْتيبِ التّالي. يَحْمِلُ الصّارُوخُ السُّفْلِيُّ الصّارُوخَيْنِ الآخَرَيْنِ والحِمْلَ الآجِرَ ويَنْطَلِقُ بِها عَبْرَ مَرْحَلَةِ الانْطِلاقِ الأُولى. وما إِنْ يَسْتَنْفِدَ هٰذا الصّارُوخُ وَقودَهُ حَتّى يَبْدَأَ مُحَرِّكُ الصّارُوخِ الثّاني بِالعَمَلِ فَيَنْفَصِلَ الصّارُوخُ الأَوَّلُ ويَسْقُطَ ويَتِمَّ التَّخَلُّصُ مِنْ وَزْنِهِ الَّذي عادَ عِبْئًا لا طائِلَ بِهِ. وهٰكَذا يَبْدَأُ الصّارُوخُ الثّاني انْطِلاقَهُ مِنْ وَضْعٍ أَفْضَلَ مِنْ حَيْثُ السُّرْعَةُ والارْتِفاعُ اللَّذانِ حَقَّقَهُما الصّارُوخُ الأَوَّلُ. وعِنْدَما يُسْتَنْفَدُ وَقودُ الصّارُوخِ الثّاني يَبْدَأُ مُحَرِّكُ الصّارُوخِ الثّالِثِ بِالعَمَلِ ويَنْفَصِلُ الصّارُوخُ الثّاني تارِكًا الصّارُوخَ الثّالِثَ وَحْدَهُ لِيَنْطَلِقَ بِالحِمْلِ الآجِرِ. وبِفَضْلِ تَعْزيزِ المَرْحَلَتَيْنِ السّابِقَتَيْنِ يُحَقِّقُ الصّارُوخُ المُتَبَقّي سُرْعَةَ الانْفِلاتِ قَبْلَ نَفادِ وَقودِهِ ويُصْبِحُ الحِمْلُ الآجِرُ في وَضْعِ «السُّقوطِ الطَّليقِ» بِحَيْثُ يَتَسَنّى لَهُ اتِّخاذُ مَدارٍ حَوْلَ الأَرْضِ أَوِ الانْسِيابُ مُتابِعًا سَيْرَهُ عَبْرَ الفَضاءِ الخارِجِيِّ دونَما حاجَةٍ إلى مَزيدٍ مِنَ الدَّفْعِ.

في الصَّفْحَةِ المُقابِلَةِ يُبَيِّنُ الرَّسْمُ البَيانِيُّ انْدِفاعَ الوَقودِ الدّاسِرِ إلى حُجْرَةِ الاحْتِراقِ في صارُوخِ المَرْحَلَةِ الثّانِيَةِ بِاسْتِخْدامِ الغازِ المَضْغوطِ، بَيْنَما تُسْتَخْدَمُ لِذٰلِكَ مِضَخّاتٌ في الصّارُوخِ الأَوَّلِ. أَمّا صارُوخُ المَرْحَلَةِ الثّالِثَةِ في الرَّسْمِ فَهُوَ مِنَ النَّوْعِ الَّذي يَعْمَلُ بِالوَقودِ الصُّلْبِ.



مَشاكِلُ الصَّارُوخِ المُتَعَدِّدِ المَراحِلِ

بِنَاءً على ما ذَكَرْناهُ في الصَّفْحَةِ ٣٢ بِشَأْنِ الحِمْلِ الآخَرِ مِنْ حَيْثُ أَنَّ وَزْنَهُ يَتَراوَحُ بَيْنَ ١/٣٠ و ١/٤ مِنْ وَزْنِ الصَّارُوخِ لَدى تَحْمِيلِهِ يَنْطَبِقُ بِشَكْلٍ خاصٍّ على الصَّارُوخِ المُتَعَدِّدِ المَراحِلِ. فَفِي هٰذا النَّوْعِ مِنَ الصَّوارِيخِ يَحْمِلُ صارُوخُ المَرْحَلَةِ الأُولى لا الحِمْلَ الآخَرَ فَقَطْ بَلْ صارُوخَيِ المَرْحَلَتَيْنِ الثّانِيَةِ والثّالِثَةِ أَيْضًا. وَلَو أَخَذْنا مَثَلاً الصَّارُوخَ الجَبّارَ « ساتِرْن الخامِسَ » الَّذي وَزْنُهُ عِنْدَ الانْطِلاقِ حَوالى ثَلاثَةِ آلافِ طُنٍّ لَوَجَدْنا أَنَّ حِمْلَهُ الآخَرَ لا يَتَجاوَزُ مِئَةَ طُنٍّ إلى مَدارٍ حَوْلَ الأَرْضِ ، أَوْ خَمْسَةً وأَرْبَعينَ طُنًّا إلى القَمَرِ ، أَوْ خَمْسَةً وَثَلاثِينَ طُنًّا إلى أَحَدِ الكَواكِبِ السَّيّارَةِ. أَمّا نِسْبَةُ الحِمْلِ الآخَرِ إلى الوَزْنِ في الصَّارُوخِ الأُحادِيِّ المَرْحَلَةِ فَهِيَ أَعْلى مِنْ ذٰلِكَ

وَمِنْ مَشاكِلِ الصَّارُوخِ المُتَعَدِّدِ المَراحِلِ مَسْأَلَةُ شَدِّ صَوارِيخِ المَراحِلِ المُخْتَلِفَةِ إلى بَعْضِها ، فَبَراغِي التَّثْبِيتِ يَنْبَغِي أَنْ تَكُونَ مَتِينَةً بِحَيْثُ تَرْبُطُ أَجْزاءَ الصَّارُوخِ بِإِحْكامٍ بَعْضَهـــا بِبَعْضٍ مُقاوِمَةً الإِجْهاداتِ والانْفِعالاتِ والاهْتِزازاتِ النّاجِمَةَ في أَثْناءِ الطَّيَرانِ ، وفي نَفْسِ الوَقْتِ يَجِبُ أَنْ يَكُونَ مِنَ المُمْكِنِ تَحْطِيمُ هٰذِهِ البَراغِي عِنْدَ الاقْتِضاءِ لِيَتَسَنّى انْفِصالُ المَراحِلِ في الوَقْتِ المُحَدَّدِ وعَمَلِيَّةُ الانْفِصالِ في شَتّى المَراحِلِ المُتَعاقِبَةِ هِيَ مُشْكِلَةٌ في ذاتِهـا ، فَلا بُدَّ مِنْ تَوْقِيتِها بِدِقَّةٍ لِتَتَوافَقَ مَعَ لَحْظَةِ نَفادِ الوَقُودِ مِنْ صارُوخٍ مَرْحَلِيٍّ وانْطِلاقِ مُحَرِّكِ الصَّارُوخِ التّالي .

وَيُسْتَخْدَمُ في إِحْدى وَسائِلِ فَصْلِ الصَّوارِيخِ المَرْحَلِيَّةِ بَراغِي تُسَمّى مُجَوَّفَةً تُشَدُّ بِها مَراحِلُ الصَّارُوخِ إلى بَعْضِها. هٰذِهِ البَراغِي المُجَوَّفَةُ مُعَبَّأَةٌ بِشِحْناتٍ مُتَفَجِّرَةٍ وَيَتِمُّ تَفْجِيرُها في الوَقْتِ المُناسِبِ بِإِشارَةٍ كَهْرَبائِيَّةٍ. وتَتَفَجَّرُ بَراغِي الرَّبْطِ لِفَصْلِ صارُوخِ المَرْحَلَةِ المُنْتَهِيَةِ وَسُقُوطِهِ بَيْنَما يُتابِعُ صارُوخُ المَرْحَلَةِ التّالِيَةِ انْطِلاقَهُ

يَتِمُّ فَصْلُ الصَّوارِيخِ المَرْحَلِيَّةِ بِتَفْجِيرِ حَشَواتِ بَراغِي الرَّبْطِ



في مَدارٍ حَوْلَ الأرْضِ

إن إطْلاقَ تابعٍ أوْ عَرَبَةٍ فَضائيَّةٍ هُوَ عَمليَّةٌ باهِظَةُ التَّكاليفِ. لذا يُحاوِلُ العُلَماءُ الحُصولَ على الفائِدَةِ القُصوى مِنْها بَعْدَ إطْلاقِها. ولمّا كانَ الكَثيرُ مِنْ مَشاريعِ البُحوثِ التي يُجْريها العُلَماءُ بِواسِطَةِ العَرَباتِ الفَضائيَّةِ يَسْتَغْرِقُ زَمَنًا غَيْرَ قَصيرٍ لإكْمالِهِ كانَ مِنَ الضَّروريِّ تَصْميمُ الآلاتِ العِلْميَّةِ التي تَحْمِلُها تِلْكَ العَرَباتُ بِحَيْثُ تَعْمَلُ بِكَفاءَةٍ لِفَتَراتٍ طَويلَةٍ

لقدْ وُضِعَتْ مُعْظَمُ التَّوابِعِ الاصْطِناعيَّةِ التي أُطْلِقَتْ حَتّى الآنَ في مَداراتٍ حَوْلَ الأرْضِ عَلى ارْتِفاعٍ يُقارِبُ المِئَتَيْ مِيلٍ (٣٢٠ كيلومترًا) فَوْقَ سَطْحِها. ويَتَفاوَتُ هذا العُلُوُّ في قِطاعاتِ المَدارِ المُخْتَلِفَةِ إذْ إنَّ المَدارَ لَيْسَ دائِريًّا بَلْ إهْليلَجيُّ الشَّكْلِ. على هذا البُعْدِ يَبْقى التّابِعُ ضِمْنَ مَدى الجاذِبيَّةِ الأرْضيَّةِ القَويَّةِ، فَكَيْفَ نَتَمَكَّنُ مَنْعَهُ مِنَ السُّقوطِ إلى الأرْضِ نَتيجَةً لِشَدِّ الجاذِبيَّةِ لَهُ؟ والجَوابُ هُنا هُوَ أيْضًا السُّرْعَةُ

اِرْبِطْ جِسْمًا بِطَرَفِ خَيْطٍ ودَوِّمِ الجِسْمَ في الهَواءِ وأنْتَ تُمْسِكُ بِطَرَفِ الخَيْطِ الآخَرِ عالِيًا فَوْقَ رَأْسِكَ. لاحِظْ أنَّ الجِسْمَ يَبْقى في مَسارٍ دائِريٍّ أُفُقيٍّ ما دُمْتَ تُديمُ سُرْعَتَهُ، لكِنَّهُ يَسْقُطُ حِينَ تُبْطِئُ التَّدْويمَ. وهذا يُبَيِّنُ لَكَ أنَّهُ إذا ما زُوِّدَ جِسْمٌ بِسُرْعَةٍ كافِيَةٍ فإنَّ بإمْكانِهِ التَّغَلُّبَ على قُوَّةِ الجاذِبيَّةِ

ذَكَرْنا سابِقًا أنَّ السُّرْعَةَ اللازِمَةَ للإفْلاتِ مِنْ جاذِبيَّةِ الأرْضِ هِيَ حَوالَى ٤٠ ألفَ كيلومترٍ في السّاعَةِ. لكِنَّ سُرْعَةً تُقارِبُ ٢٩ ألفَ كيلومترٍ في السّاعَةِ تَكْفي لإبْقاءِ التّابِعِ في مَسارٍ مَداريٍّ حَوْلَ الأرْضِ على عُلُوِّ مِئَتَيْ مِيلٍ فَوْقَ سَطْحِها، وذلِكَ لأنَّ تَقَوُّسَ مَدارِ التّابِعِ على هذا العُلُوِّ مُساوٍ لِتَقَوُّسِ سَطْحِ الأرْضِ. فالتّابِعُ في الواقِعِ «يَسْقُطُ» حَوْلَ الأرْضِ. وكُلَّما زادَ الارْتِفاعُ عَنْ سَطْحِ الأرْضِ قَلَّتِ السُّرْعَةُ المَداريَّةُ اللازِمَةُ لِحِفْظِ التّابِعِ في مَدارِهِ لأنَّ جاذِبيَّةَ الأرْضِ حِينَئِذٍ تَكونُ أقَلَّ



التَّحَرُّكُ في الفَضاءِ

بالرَّغمِ مِنَ الخِبرَةِ والدِّقَّةِ المُتَوَفِّرَتَيْنِ حاليًّا في إطلاقِ الصَّواريخِ فإنَّهُ قَدْ يَحدُثُ أنْ يَحيدَ الصَّارُوخُ أوِ المَرْكَبَةُ الفَضائيَّةُ عَنِ المَسارِ المُحَدَّدِ. ويُصبِحُ مِنَ الضَّروريِّ بالتّالي إيجادُ وَسيلةٍ ما لِتَوجيهِ المَرْكَبَةِ بِحَيْثُ تُصَحِّحُ مَسارَها مِنْ حِينٍ لآخر.

إنَّ تَوجيهَ السَّفينَةِ يَتِمُّ بِضَغْطِ دَفَّتِها على الماءِ الَّذي تَمخُرُهُ؛ ويَجري ضَبْطُ اتِّجاهِ الطّائِرَةِ بِفِعْلِ ضَغْطِ الهَواءِ على دَفَّتِها؛ كَما أنَّ قِيادَةَ السَّيّارَةِ في الاتِّجاهِ المَطْلوبِ تَعتَمِدُ على ضَغْطِ عَجَلاتِها على أرضِ الطَّريقِ. فالسَّيّارَةُ تَدورُ في الاتِّجاهِ الَّذي تَتَّجِهُ العَجَلَتانِ الأَمامِيَّتانِ بِتَحريكِ المِقْوَدِ. أمّا في الفَضاءِ حَيْثُ لا هَواءَ ولا ضَغْطَ ولا مادَّةَ نَستَعينُ بِهِ جِهازُ التَّحَكُّمِ فَلا مَناصَ لَنا مِنَ اللُّجوءِ إلى مَبدَأِ رَدِّ الفِعْلِ. فالقُوَّةُ الَّتي تَدفَعُ الصّارُوخَ إلى أعلى كَرَدِّ فِعْلٍ لانْدِفاعِ غازاتِ مُحَرِّكِهِ إلى أسفَلَ، تُستَخدَمُ هِيَ نَفسُها في تَحويلِ اتِّجاهِ المَرْكَبَةِ الفَضائيَّةِ نَحوَ الاتِّجاهِ المَطلوبِ.

لِهذا الغَرَضِ تُثَبَّتُ صَواريخُ صَغيرَةٌ أوْ مَنافِثُ هَوائيَّةٌ في أماكِنَ مُناسِبَةٍ مِنَ المَرْكَبَةِ الفَضائيَّةِ. وعِندَما يُرادُ إجراءُ تَغييرٍ في مَسارِ المَرْكَبَةِ أوْ في وَضعِها يُشعَلُ الصّارُوخُ المُختَصُّ في دَفَقاتٍ قَصيرَةٍ فَيَدفَعُ ذلِكَ المَرْكَبَةَ في الاتِّجاهِ المُضادِّ مُحدِثًا التَّغييرَ المَطلوبَ.

ويُستَخدَمُ الأُسلوبُ نَفسُهُ في تَبطِئَةِ العَرَباتِ الفَضائيَّةِ تَمهيدًا لإعادَتِها إلى جَوِّ الأرضِ أوْ لإنزالِها بِرِفقٍ على سَطحِ جِرمٍ عَديمِ الهَواءِ كالقَمَرِ. فالكَبسولاتُ المَدارِيَّةُ المَأهولَةُ مُجَهَّزَةٌ بِصَواريخِ كَبحٍ رَدْفِعلِيَّةٍ في قاعِدَتِها؛ وقَبلَ العَودَةِ إلى جَوِّ الأرضِ يُعَدَّلُ وَضعُ الكَبسولَةِ بِحَيثُ تَتَّجِهُ قاعِدَتُها صَوبَ الأرضِ، ثُمَّ تُطلَقُ صَواريخُ الكَبحِ. أمّا الهُبوطُ نِهائيًّا إلى الأرضِ فَيَتِمُّ بِالمِظَلّاتِ.

وهٰكَذا أيضًا يَتِمُّ الهُبوطُ الهَيِّنُ على سَطحِ القَمَرِ إلّا أنَّهُ لا حاجَةَ (ولا نَفعَ) لِلمِظَلّاتِ في ذلِكَ الهُبوطِ.

صواريخُ الكَبحِ تُبطِيءُ سُرعةَ المَركبةِ الفَضائيّة



تَعَقُّبُ التَّوابِعِ الصُّنْعِيَّةِ

مَهْما كَبُرَ حَجْمُ التّابِعِ الصُّنْعِيِّ السّابِحِ في مَدارٍ حَوْلَ الأَرْضِ فَإِنَّهُ، أَمامَ ضَخامَةِ الفَضاءِ اللّامَحْدودِ، يَبْدو ضَئيلاً جِدًّا. أَحْيانًا يُمْكِنُ مُشاهَدَةُ بَعْضِ التَّوابِعِ الصُّنْعِيَّةِ كَنِقاطٍ ضَوْئِيَّةٍ بالِغَةِ الدِّقَّةِ سارِيَةٍ عَبْرَ الفَضاءِ وَغالِبًا تَحْتاجُ إِلى تِلِسْكوباتٍ خاصَّةٍ لِتَبَيُّنِها. أَمّا إِذا كانَ الجَوُّ غائِمًا أَوْ غَيْرَ صافٍ فَلَنْ نَرى لَها أَيَّ أَثَرٍ.

وَيُسْتَعانُ غالِبًا بِالرّادْيو لِتَأْمينِ الاتِّصالِ بِالتّابِعِ الصُّنْعِيِّ وَتَعَقُّبِهِ. فَيُجَهَّزُ التّابِعُ بِجِهازِ إِرْسالٍ لاسِلْكِيٍّ يَبُثُّ الإِشاراتِ وَهِيَ عادَةً مَعْلوماتٌ جَمَعَتْها آلاتُ القِياسِ الَّتي يَحْمِلُها التّابِعُ. وَتُلْتَقَطُ هذِهِ الإِشاراتُ بِواسِطَةِ أَجْهِزَةِ اسْتِقْبالٍ خاصَّةٍ عَلى الأَرْضِ. أَمّا إِذا تَعَطَّلَ جِهازُ الإِرْسالِ أَوِ اسْتُنْفِدَتْ بَطّارِيَّتُهُ فَإِنَّ بَثَّ الإِشاراتِ يَنْقَطِعُ وَيُصْبِحُ التّابِعُ عَديمَ الجَدْوى.

وَمِنْ طُرُقِ التَّتَبُّعِ الأُخْرى اسْتِخْدامُ التِّلِسْكوبِ الرّادِيِّ الَّذي يَلْتَقِطُ الأَمْواجَ الرّادِيَّةَ كَما يَجْمَعُ التِّلِسْكوبُ البَصَرِيُّ الأَمْواجَ الضَّوْئِيَّةَ. وَبِواسِطَتِهِ يُمْكِنُ الحُصولُ عَلى فَيْضٍ مِنَ المَعْلوماتِ دونَ تَكْوينِ صورَةٍ مَرْئِيَّةٍ. وَيُمْكِنُ اسْتِخْدامُ التِّلِسْكوبِ الرّادِيِّ كَجِهازِ رادارٍ لِقِياسِ البُعْدِ وَحِسابِ المَداراتِ. في هذِهِ الطَّريقَةِ تُبَثُّ «نَبَضاتٌ» لاسِلْكِيَّةٌ بِاتِّجاهِ التّابِعِ فَتَرْتَدُّ عَنْهُ عائِدَةً إِلى التِّلِسْكوبِ وَتُسَجِّلُها أَدَواتُ القِياسِ المُلْحَقَةُ بِالتِّلِسْكوبِ.

وَالتِّلِسْكوبُ الرّادِيُّ في مَرْكَزِ الأَبْحاثِ في جودْرِل بانْك، تْشيشَيَر بِإِنْكِلْتِرا هُوَ مِنْ أَكْبَرِ التِّلِسْكوباتِ الرّادِيَّةِ وَأَشْهَرِها في العالَمِ. قُطْرُ صَحْنِهِ السِّلْكِيِّ حَوالى خَمْسَةٍ وَسَبْعينَ مِتْرًا وَبِمَقْدورِهِ التِقاطُ أَمْواجِ الرّادْيو مِنْ أَعْماقِ الفَضاءِ الخارِجِيِّ البَعيدَةِ. وَهُنالِكَ الآنَ عِدَّةُ تِلِسْكوباتٍ رادِيَّةٍ مُثَبَّتَةٍ في أَنْحاءٍ شَتّى مِنَ العالَمِ تُؤَمِّنُ تَغْطِيَةً شامِلَةً لِعَمَلِيّاتِ تَتَبُّعِ السُّفُنِ الفَضائِيَّةِ وَتَوْجيهِ الصَّواريخِ الَّتي تَحْمِلُها.

تِلِسْكوبٌ رادِيٌّ



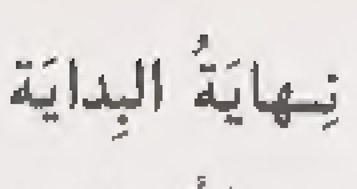
رَسائِلُ مِنَ الفَضاءِ

تُوضَعُ التَّوابِعُ الصُّنْعِيَّةُ في مَداراتِها حَولَ الأَرْضِ لِتَخْدِمَ أَغْراضًا مُحَدَّدَةً، بَعْضُها عِلْمِيٌّ صِرْفٌ كَقِياسِ الأَشِعَّةِ الكَوْنِيَّةِ مِنَ الفَضاءِ الخارِجِيِّ أَوْ دِراسَةِ الإِشْعاعِ الشَّمْسِيِّ أَوْ رَصْدِ النُّجُومِ مِنْ فَوْقِ جَوِّ الأَرْضِ الحاجِبِ. وتُخَصَّصُ بَعْضُ هٰذِهِ التَّوابِعِ لأَغْراضٍ تَتَعَلَّقُ بالحَياةِ اليَوْمِيَّةِ ومُتَطَلَّباتِها العَمَلِيَّةِ كَمُعِيناتٍ مِلاحِيَّةٍ وأَجْرامِ مُواصَلاتٍ تُبَثُّ عَبْرَها البَرامِجُ الإِذاعِيَّةُ والتِّلِفِزْيونِيَّةُ أَوْ تَقُومُ بِوَضْعِ الخَرائِطِ الجُغْرافِيَّةِ ودِراسَةِ مُناخِ الأَرْضِ.

وتُسْتَخْدَمُ التِّقْنِيّاتُ التِّلِيمِتْرِيَّةُ في بَثِّ المَعْلُوماتِ الَّتي يَجْمَعُها التّابِعُ إلى الأَرْضِ. وتَنْطَوي هٰذِهِ التِّقْنِيّاتُ عَلى اسْتِخْدامِ جِهازٍ لاسِلْكِيٍّ ذِي مَوْجاتٍ عالِيَةِ التَّرَدُّدِ جِدًّا «تَتَراوَحُ ذَبْذَبَتُها بَيْنَ ٣٠ مِلْيونَ دَوْرٍ و ٣٠ أَلْفَ مِلْيونِ دَوْرٍ في الثّانِيَةِ». إِنَّ مَوْجاتِ الرّاديو العادِيَّةَ لا تَسْتَطِيعُ اخْتِراقَ جَوِّ الأَرْضِ فَهِيَ إِمّا أَنَّها تُمْتَصُّ أَوْ تُعْكَسُ مُرْتَدَّةً إلى الفَضاءِ الخارِجِيِّ بِواسِطَةِ طَبَقَةِ الأَيُونُوسفِير «وهِيَ طَبَقَةُ الغِلافِ الغازِيِّ المُتَأَيِّنِ مِنْ جَوِّ الأَرْضِ المُمْتَدَّةُ بَيْنَ عُلُوِّ ٤٨ و ١١٢ كيلومِتْرًا عَنْ سَطْحِها». ولاخْتِراقِ طَبَقَةِ الأَيُونُوسفِير الحاجِزَةِ لابُدَّ مِنَ اسْتِخْدامِ الأَمْواجِ الرّادِيَّةِ الشَّدِيدَةِ الاخْتِراقِيَّةِ ذاتِ التَّرَدُّدِ العالي جِدًّا.

تُجَهَّزُ التَّوابِعُ الصُّنْعِيَّةُ غالِبًا بِبَطّارِيّاتٍ (أَوْ خَلايا) شَمْسِيَّةٍ لِتَزْوِيدِ آلاتِها التِّلِيمِتْرِيَّةِ وسِواها بالطّاقَةِ. ومَبْدَأُ عَمَلِ البَطّارِيّاتِ الشَّمْسِيَّةِ هُوَ أَنَّ الصَّفائِحَ السِّلِيكُونِيَّةَ تُوَلِّدُ تَيّارًا كَهْرُبائِيًّا لَدَى تَعَرُّضِها لِضَوْءِ الشَّمْسِ. فَبَيْنَما تُسْتَنْفَدُ طاقَةُ المَراكِمِ (البَطّارِيّاتِ الحاشِدَةِ) الكَهْرُبائِيَّةِ بِسُرْعَةٍ تُواصِلُ البَطّارِيّاتُ الشَّمْسِيَّةُ عَمَلَها لِفَتَراتٍ طَوِيلَةٍ فَتُطِيلُ بِذٰلِكَ العُمْرَ النّافِعَ لِلتّابِعِ وتَزِيدُ مِنْ كَمِّيَّةِ المَعْلُوماتِ الَّتي يَقُومُ بِإِرْسالِها.

جِرْمُ المُواصَلاتِ «تِلِسْتار»



نِهايَةُ البِدايَة

إنَّ أيَّ كِتابٍ عَن الصَّوارِيخِ ورِيادَةِ الفَضاءِ يَبْقَى ناقِصًا، فَهُنالِكَ دَوْمًا شَيْءٌ جَدِيدٌ في هذا المَوْضُوعِ المُتَوالي الإنْجازاتِ. لَقَدْ رادَ الإنْسانُ الأَرْضَ في القُرُونِ الماضِيَةِ فَوَجَدَ الكَثِيرَ مِمّا أثارَ دَهْشَتَهُ وتَساؤُلاتِهِ. وجَرَتْ دِراساتٌ مُسْتَفِيضَةٌ لِلقَمَرِ والكَواكِبِ والنُّجُومِ مِنَ الأَرْضِ. جُمِعَتْ فِيها كَمِّيّاتٌ ضَخْمَةٌ مِنَ المَعْلُوماتِ بَعْضُها صَحِيحٌ وبَعْضُها خاطِئٌ كَما تَبَيَّنَ بالتَّدْقِيقِ والتَّمْحِيصِ المُسْتَمِرَّيْنِ. ونَحْنُ الآنَ عَلَى عَتَبَةِ مُغامَرَةٍ جَدِيدَةٍ هِيَ دِراسَةُ الفَضاءِ مِنَ الفَضاءِ. لَقَدْ تَعَلَّمْنا وعَرَفْنا الكَثِيرَ في السَّنَواتِ القَلِيلَةِ الماضِيَةِ، ولكِنَّنا ما زِلْنا نَتَلَمَّسُ البابَ الَّذي سَيَنْفَتِحُ يَوْمًا لِيَقُودَنا إلى غَزْوِ الكَوْنِ. إنَّ هذا اليَوْمَ قَدْ يَكُونُ بَعِيدًا في طَيّاتِ القُرُونِ القادِمَةِ ولكِنَّهُ لا بُدَّ آتٍ.

هذِهِ المُغامَراتُ الرّائِدَةُ كُلُّها سَتَظَلُّ في بِدايَتِها تَعْتَمِدُ عَلَى الصَّوارِيخِ. سَتَتَغَيَّرُ الوُقُودُ الدّاسِرَةُ بِلا رَيْبٍ لِتُصْبِحَ أكْثَرَ كِفايَةً وفَعّالِيَّةً، وقَدْ تُسْتَخْدَمُ الطّاقَةُ النَّوَوِيَّةُ أو الدَّسْرُ الكَهْرُبائِيُّ لِدَفْعِ الصَّوارِيخِ، ولكِنَّ المَبادِئَ العامَّةَ لِلتِّقْنِيّاتِ الصّارُوخِيَّةِ المَعْمُولِ بِها حالِيًّا سَتَبْقَى دُونَ تَغْيِيراتٍ جَذْرِيَّةٍ حَتَّى يَتِمَّ تَسْخِيرُ الطّاقَةِ الشَّمْسِيَّةِ في عَمَلِيَّةِ الدَّفْعِ الصّارُوخِيِّ.

لَقَدْ تَمَّ التِقاطُ الإشاراتِ اللاّسِلْكِيَّةِ المُرْسَلَةِ عَبْرَ مَلايِينِ الأمْيالِ مِنْ تَوابِعَ فَضائِيَّةٍ أُرْسِلَتْ لِدِراسَةِ كَوْكَبِ المِرِّيخِ وتَمَّ بِنَجاحٍ تَحْوِيلُ تِلْكَ الإشاراتِ إلى صُوَرٍ مَرْئِيَّةٍ عَنْ سَطْحِ ذلِكَ الكَوْكَبِ. وقَرِيبًا سَيُمْكِنُ لِلتِّلِسْكُوباتِ الرّادِيَّةِ إرْسالُ الأوامِرِ إلى السَّوابِرِ الفَضائِيَّةِ وتَلَقِّي المَعْلُوماتِ مِنْها عَلَى أبْعادٍ تُجاوِرُ بْلُوتُو أبْعَدَ الكَواكِبِ المَعْرُوفَةِ (أيْ إلى مَسافاتٍ تَزِيدُ عَلَى ٥٧٠٠ مِلْيُونِ كِيلُومِتْرٍ). لَقَدْ وَطِئَ الإنْسانُ سَطْحَ القَمَرِ وفي يَوْمٍ غَيْرِ بَعِيدٍ سَيَطَأُ كَوْكَبَ المِرِّيخِ، وما ذلِكَ إلاّ بِدايَةُ المُغامَرَةِ الكَوْنِيَّةِ فَقَطْ!

مَرْكَبَةٌ فَضائِيَّةٌ في رِحْلَةٍ نِظامِيَّةٍ إلى القَمَرِ كَما تَصَوَّرَها فَنّانٌ



سِلْسِلَةُ «كَيْفَ تَعْمَلُ»

١ – الكاميرا
٢ – السّيارة
٣ – التِّلفون
٤ – التِّلفزْيون
٥ – الصّاروخ
٦ – الحاسبة الإلكترونيّة
٧ – الحَوّامة
٨ – المِرْقَب (التِّلِسْكوب) والمِجْهَر (الميكروسْكوب)
٩ – الطّائرة
١٠ – الآلات الزّراعيّة
١١ – الدرّاجة النّاريّة
١٢ – القاطِرَة

Series 654 Arabic
